

UNIVERSITÉ IBN-KHALDOUN DE TIARET
FACULTÉ DES SCIENCES APPLIQUEES
DÉPARTEMENT DE GENIE ELECTRIQUE



MEMOIRE DE FIN D'ETUDES
Pour l'obtention du diplôme de Master

Domaine : Sciences et Technologie

Filière : Génie Electrique

Spécialité : Informatique Industrielle

THÈME

Modélisation virtuelle d'un bras manipulateur ROB3

Préparé par :

Bessis nouria

Blaha soumia

Devant le Jury :

Nom et prénoms	Grade	Qualité
Mr MAASKRI Mustapha	MAA	Président
Mr BENABID Houari	MAA	Examineur
Mr HATTAB A/Ilah	MCB	Examineur 1
Mr ADDA Benatia	MAA	Encadreur

PROMOTION : 2016/2017

Remerciements :

Je remercie mon encadreur Mer ADDABENATIA Abderrahmane, qui m'a aidé et fait confiance tout au long de cette mémoire. C'est grâce à ces connaissances conseils et sa grande facilité de communication que

J'ai pu évoluer dans mon sujet de recherche. Je remercie le président pour avoir accepté de juger ce travail, et les membres du jury qui ont pris de leurs temps pour lire, juger ce travail.

Mes derniers remerciements vont à ma famille qui m'a appuyé et soutenu moralement pendant les bons et les mauvais moments. Par ce mémoire, je souhaite leur témoigner ma reconnaissance pour la confiance qu'ils ont placée en moi. , A tous, un grand MERCI!

Dédicace

Je dédie ce travail à mes très chers parents qui ont tant prié à mon réussite, De soutien moral. Je les remercie de m'avoir encouragé Et aidés à devenir ce que Je suis. Et A mes frère, mes soeurs, et à toute la famille. A mes amis qui ont été toujours présent.

Remerciements	
Dédicace	
Sommaire	
Liste des Figures	
Liste des Tableaux	
Introduction Général.....	I
Chapitre I :	
Introduction :.....	2
I.1. Définition d'un robot.....	2
I.2. Historique.....	3
I.3. Structure générale d'un robot manipulateur.....	4
I.3.1 Système mécanique articulé.....	4
I.3.2. Notion d'articulation.....	5
I.3.2.1 Articulation rotoïde.....	5
I.3.2.2. Articulation prismatique.....	6
I.4.1. Organe terminal.....	6
I.4.2 Les actionneurs.....	7
I.4.3 Les capteurs.....	8
I. 4.4. Unité de contrôle.....	8
I. 5. Classification des robots.....	8
I. 6. Caractéristiques des robots.....	9
I. 6.1. Volume (espace) de travail.....	9
I. 6.2 Précision / Répétabilité.....	9
I. 6.3. Vitesse et accélération maximale.....	10
I. 6.4. Charge utile.....	10
I. 7. Architecture des robots.....	10
I. 7.1. Le porteur.....	11

I. 7.2. Le poignet	11
I. 8. Classification géométrique	11
I. 9. Les différents types des robots	12
I. 9.1. Les robots SCARA	12
I. 9.2. Les robots cylindriques.....	12
I. 9.3. Les robots sphériques	13
I. 9.4. Les robots Cartésiens.....	13
I. 9.5. Les robots parallèles	13
I. 9.6. Les robots anthropomorphes	14
I. 10. Applications des robots manipulateurs.....	14
I. 10.1 Robots industriels de soudage	14
I. 10.2. Robots manipulateurs de service aux humains.....	15
I. 10.3. Robots manipulateurs de service aux équipements	15
Conclusion	17

Chapitre II :

Introduction.....	19
II. 1. présentation du robot ROB3.....	19
II. 1.1..Description cinématique du bras manipulateur.....	19
II. 1.2. Propriétés électriques	21
II. 1.2.a. L'unité TEACHBOX.....	22
II. 1.3. Propriétés mécaniques.....	23
II. 2.Le Modèle Géométrique Direct et Inverse.....	26
II. 3.Convention de Denavit.....	27
II. 4. But de la modélisation géométrique et les considérations	27
II. 5. Paramètres géométriques pour une structure ouverte simple.....	27
II. 6.Modélisation des bras manipulateurs	28
II. 6.1. Configuration et situation d'un bras manipulateur.....	28

II. 7. Modèle Géométrique Direct.....	29
II. 7.1. Les paramètres de Denavit -Hartenberg.....	30
II. 7.2.Calcul du MGD du bras ROB3	31
II. 8.ModèleGéométrique Inverse	33
II. 8.1. Calcul du Modèle géométrique inverse.....	34
Conclusion	37

Chapitre III:

Introduction.....	39
III. 1. Simulation des systèmes robotisés.....	39
III. 2. Le rôle de la simulation/animation	40
III. 3. Modélisation virtuelle	40
III. 3.1 But de la Modélisation virtuelle.....	41
III. 3.2 Choix de l’outil	41
III. 3.2.1 Processing	42
III. 3.2.2 Avantages de Processing.....	43
III. 4. Méthodologie	43
III. 5. Modélisation virtuelle du robot ROB3	44
III. 5.1. Construction du robot	44
III. 5.2. L’animation du robot	45
III. 6. Affichage instantané des résultats de calcul du MGD et MGI	48
III. 7-Résultat et Tests.....	50
Conclusion	54
Conclusion Générale.....	56
Annexe	60

Liste des figures :

Figure (I.01) :les composant d'un système automatique	02
Figure (I.02) : Robot a structure ouverte simple	05
Figure (I.03) : Articulation prismatique et Articulation rotoïde	06
Figure (I.04) : vocabulaire du robot.	07
Figure (I.05) : principale d'un robot	07
Figure (I.06) : volume de travail d'un robot.	09
Figure (I.07) : Exemple de robots manipulateurs	10
Figure (I.08) : schéma de Les robots	12
Figure (I.09) : Robot Sankyo	12
Figure (I.10) : Le robot cylindrique	12
Figure (I.11) : Robot Seiko	12
Figure (I.12) : robot sphérique	13
Figure (I.13) : ROBOT FANUC	13
Figure (I.14) : robot Cartésien.....	13
Figure (I.15) : robot Toshiba.....	13
Figure (I.16) : robot COMAU.....	13
Figure (I.17) : robot anthropomorphe	14
Figure (I.18) : Robots manipulateurs industriels de soudage.....	15
Figure (I.19) : Manipulateur médical (MKM).	15
Figure (I.20) : Robot Skywash.....	16
Figure (I.21) : Robot pompiste.....	16
Figure (I.22) : Robot de construction.....	16
Figure (I.23) : robot Computer motion	16
Figure (I.24) :robot Assistance aux personnes.....	16
Figure (II.01) : bras manipulateur <i>ROB3</i>	19

Figure (II.02) : Représentation schématique d'une chaîne cinématique.	20
Figure (II.03) : L'espace du travail du bras robotique <i>ROB3</i>	21
Figure (II.04) : la pince du robot <i>ROB3</i>	22
Figure (II.05) : unité de commande <i>TEACHBOX</i>	23
Figure (II.06) : Limites des axes du <i>ROB3</i>	24
Figure (II.07) : Axes du robot <i>ROB3</i>	24
Figure (II.08) : Les dimensions du robot <i>ROB3</i> (<i>vue de face</i>).....	25
Figure (II.09) : Les dimensions du robot <i>ROB3</i> (<i>vue de haut</i>)	25
Figure (II.10) : Les dimensions du robot <i>ROB3</i> (<i>vue de face</i>).....	26
Figure (II.11) : Robot à Structure Ouverte Simple	28
Figure (II.12) : Paramètres géométriques du robot <i>ROB3</i>	29
Figure (II.13) : Paramètres géométriques pour une structure ouverte simple.....	30
Figure(II.14) : Description schématique des articulations dans le plan <i>OXZ</i>	34
Figure (III.01) : Espace de travail Processing.....	42
Figure (III.01) : Repère 3D de Processing	44
Figure (III.03) : Résultat de simulation n01	50
Figure (III.04) : Résultat de simulation n02.....	51
Figure (III.05): résultat de simulation n03	51
Figure (III.06): résultat de simulation n04	52
Figure (III.07): résultat de simulation n05	53

Liste des Tableaux :

Tableau (II.01) : Tableau des symboles	20
Tableau (II.02) : les angles de rotation du robot ROB3.....	25
Tableau (II.03) : paramètres de Denavit-Hartenberg	30
Tableau (III.01) : Résultats obtenus lors du test du MGD.....	52
Tableau (III.02) : Résultats obtenus lors du test du MGI.....	52

Introduction générale

Introduction générale & plan de travail.

Les avancées technologiques de la robotique au fil des dernières années ont autorisé l'acquisition, aux concepteurs et développeurs de robots d'une certaine maîtrise des fonctions essentielles liées à la mobilité des robots mais aussi à développer et optimiser des mouvements et déplacements pour cela les bras manipulateurs peuvent être conçus pour des applications industrielles.

La construction de nouveaux modèles de robots et bras manipulateur ne prend que quelques heures avec la modélisation et la simulation, les simulations et les modélisations sont plus faciles à installer, moins cher, plus rapide et plus pratique à utiliser, permettant ainsi une meilleure exploration de la conception, la possibilité d'effectuer des simulations en temps réel devient particulièrement importante dans les derniers stades de la conception processus. La conception finale peut être vérifiée avant que l'on se lance dans le processus coûteux de la construction d'un prototype.

La modélisation et la simulation des systèmes robotiques à l'aide de divers logiciels du programme seront faciliter le processus de conception, de construction et inspectant les robots dans le monde réel. Une simulation est importante pour les programmeurs de robot, elle leur permettant d'évaluer et de prédire le comportement d'un robot, On peut étudier, concevoir, visualiser et tester un objet avant de faire une réalité.

Le présent mémoire est organisé de la manière suivante :

Dans *le premier chapitre*, nous présentons des généralités sur les bras manipulateur.

Le deuxième chapitre présente quelques méthodes permettant d'établir le modèle géométrique directe et inverse du bras manipulateur, et l'application sur le robot ROB3, ces méthodes sont basées sur la détermination des paramètres de Denavit-Hartenberg.

Dans *le chapitre trois* apporte une définition de la modélisation virtuelle en utilisant l'environnement Processing utilisant le langage java, ainsi que quelques exemples des résultats obtenus de la simulation.

Chapitre I :

Généralité sur les Robots

Manipulateurs Industriels

Introduction :

Un système robotique est une machine programmable disposant de moyens de perception, d'interprétation et d'action qui lui permettent d'agir sur un environnement physique. Ce chapitre a pour but de décrire le principe général de la robotique industrielle et nous donnons une généralité sur les bras manipulateur et nous terminons ce chapitre par une conclusion.

I.1. Définition d'un robot : [01]

Un robot est un dispositif mécanique chargé d'effectuer une ou plusieurs tâches d'une manière plus ou moins autonomes. Il perçoit son environnement et utilise cette information pour planifier une action dans le but d'atteindre un objectif fixé.

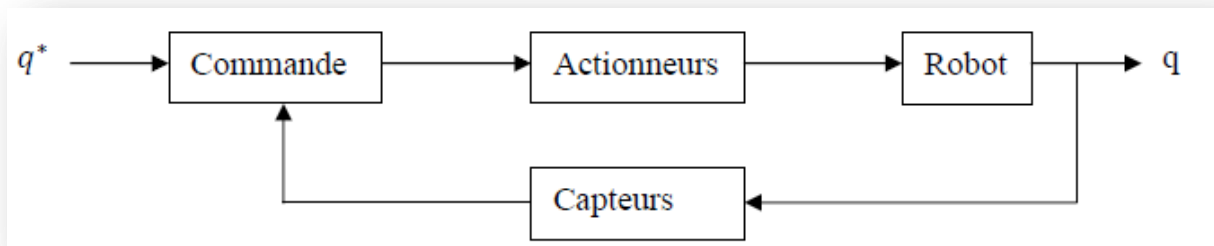


Figure (I.01) :les composant d'un système automatique

La définition que l'on donne actuellement du robot industriel diffère quelque peu selon les pays :

a. Association japonaise de robotique industrielle : [02]

(**JRA**) : japon industriel robot association

« Tout mécanisme permettant d'effectuer, en tout ou en partie , une tache normalement réalisée par l'homme ».

b. Institut robot d'Amérique :

(Robot institute of American) est beaucoup plus spécifique

« Un robot un manipulateur reprogrammable à fonction multiples il est conçu Pour déplacer des matériaux, des pièces, des outils ou des instruments Spécialisés suivant des trajectoires variables programmées, en vue d'accomplir des tâches des tâches très diverses».

c. L'association française de robotique industrielle : AFRI

« Est plus explicité et aussi la plus proche de la technologie actuelle des robots Un robot industriel est une machine formée de divers mécanismes comportant divers degrés de liberté, ayant souvent l'apparence d'un ou de plusieurs bras se terminant par un poignet capable de maintenir un outil, une pièce ou un instrument de contrôle. En particulier, son unité de contrôle doit contenir un système de mémorisation, et il peut parfois utiliser des accessoires sensitifs et adaptables qui tiennent compte de l'environnement et des circonstances. Ces machinés, ayant un rôle pluridisciplinaire, sont généralement conçues pour effectuer des fonctions répétitives, mais sont adaptables à d'autres fonctions ».

I.2. Historique : [07]

Les ancêtres des robots sont les automates, au XVII^e siècle. D'une certaine manière, dans la mesure où l'informatique les rend totalement interactifs avec les humains, les premiers robots sont les premiers ordinateurs, conçus pendant la Seconde Guerre mondiale et réalisés juste après. Mais leurs actions se limitant à des opérations intellectuelles, les premiers robots à proprement parler sont les appareils qui, synthèses des automates et des ordinateurs, peuvent effectuer de façon automatique des tâches physiques à la place des humains, ceci de façon plus efficace, en rapidité et en précision.

En 1954, l'Américain George Devol (en) dépose le brevet de Unimate, premier robot industriel. Il s'agit d'un bras articulé capable de transférer un objet d'un endroit à un autre et inspiré des téléopérateurs utilisés dans l'industrie nucléaire dans les années 1950 pour la manipulation d'éléments radioactifs³.

En 1956, la société Unimation Inc., est créée par Joseph Engelberger, associée de Devol.

En 1961, Unimate est installé aux lignes d'assemblage de l'usine Ewing Township (appartenant General Motors et située dans la banlieue de Trenton, New Jersey), Unimate. Il est chargé de saisir des pièces de métal à très haute température et de les déplacer jusqu'à des bains de refroidissement. À l'époque, la direction de General Motors ne diffuse pas l'information, estimant qu'il s'agissait d'un procédé expérimental risquant de ne pas fonctionner⁴. Elle finit cependant par passer commande de 66 exemplaires.

En 1968, *Unimation* est le leader du marché mondial de la robotique.

En 1976, la première entreprise à adopter ses produits en France est Renault en 1976.

En 1983, La société *Westinghouse* (à l'origine des premiers robots humanoïdes)

Rachète Unimation Inc. avant de la revendre à Stäubli trois ans plus tard

1947 : premier manipulateur télé-opéré.

1961 : premier robot sur une chaîne de montage de General Motors (marque UNIMATION, hydraulique)

1974 : premier robot électrique industriel

2011 : 5 000 robots FANUC fabriqués chaque mois

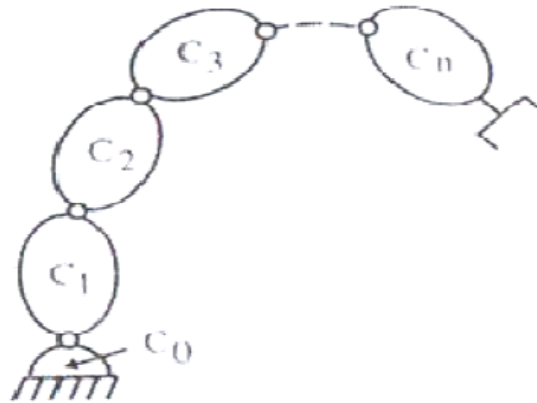
201430 000 robots FANUC vendus à travers le monde ...

I.3. Structure générale d'un robot manipulateur :[02]

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

I.3.1 Système mécanique articulé :

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



Figure(I.02) : Robot a structure ouverte simple

a. définition degré de liberté :

Le nombre de d.d.l. d'un mécanisme est le nombre de paramètre (articulations) indépendants qui permettent de définir la position du mécanisme a un instant donnés du mouvement.

b. définition degré de mobilité :

Le nombre de d.d.m. d'un mécanisme est le nombre d'articulation d'un mécanisme articulé.

I.3.2. Notion d'articulation:

Une articulation lie deux corps successifs en limitant, le nombre de degré de liberté de l'un par rapport à l'autre. Soit m le nombre de degré de liberté résultant, encore appelé mobilité de l'articulation.

La mobilité d'une articulation est telle que : $0 < m < 6$

Lorsque $m = 1$; ce qui est fréquemment le cas en robotique, l'articulation est dite simple : soit rotoïde, soit prismatique.

I.3.2.1 Articulation rotoïde :

Il s'agit d'une articulation de type pivot, notée R , réduisant le mouvement entre deux corps à une rotation autour d'un axe qui leur est commun. La situation relative entre les deux corps est donnée par l'angle autour de cet axe (voir la figure suivante).

I.3.2.2. Articulation prismatique :

Il s'agit d'une articulation de type glissière, notée P, réduisant le mouvement entre deux corps à une translation le long d'un axe commun. La situation relative entre les deux corps est mesurée par la distance le long de cet axe (voir la figure suivante).


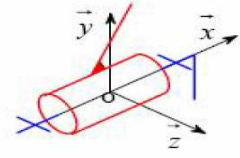
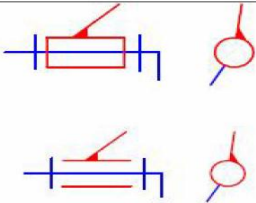
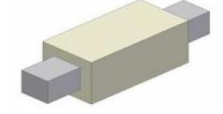
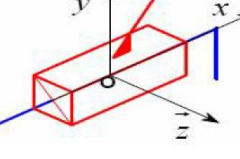
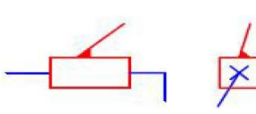
Liaison	Schéma 3D	Schéma 2D	Degrés de liberté										
<p>Liaison Pivot d'axe (O, \vec{x})</p> 			<table border="0"> <tr> <td>Translation</td> <td>Rotation</td> </tr> <tr> <td>0</td> <td>Rx</td> </tr> <tr> <td>0</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>0</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td colspan="2"><i>1 degré de liberté</i></td> </tr> </table>	Translation	Rotation	0	Rx	0	0	0	0	<i>1 degré de liberté</i>	
Translation	Rotation												
0	Rx												
0	0												
0	0												
<i>1 degré de liberté</i>													
<p>Liaison Glissière d'axe (O, \vec{x})</p> 			<table border="0"> <tr> <td>Translation</td> <td>Rotation</td> </tr> <tr> <td>Tx</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>0</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>0</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td colspan="2"><i>1 degré de liberté</i></td> </tr> </table>	Translation	Rotation	Tx	0	0	0	0	0	<i>1 degré de liberté</i>	
Translation	Rotation												
Tx	0												
0	0												
0	0												
<i>1 degré de liberté</i>													

Figure (I.03) : Articulation prismatique et Articulation rotoïde

I.4.1. Organe terminal :

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. 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.

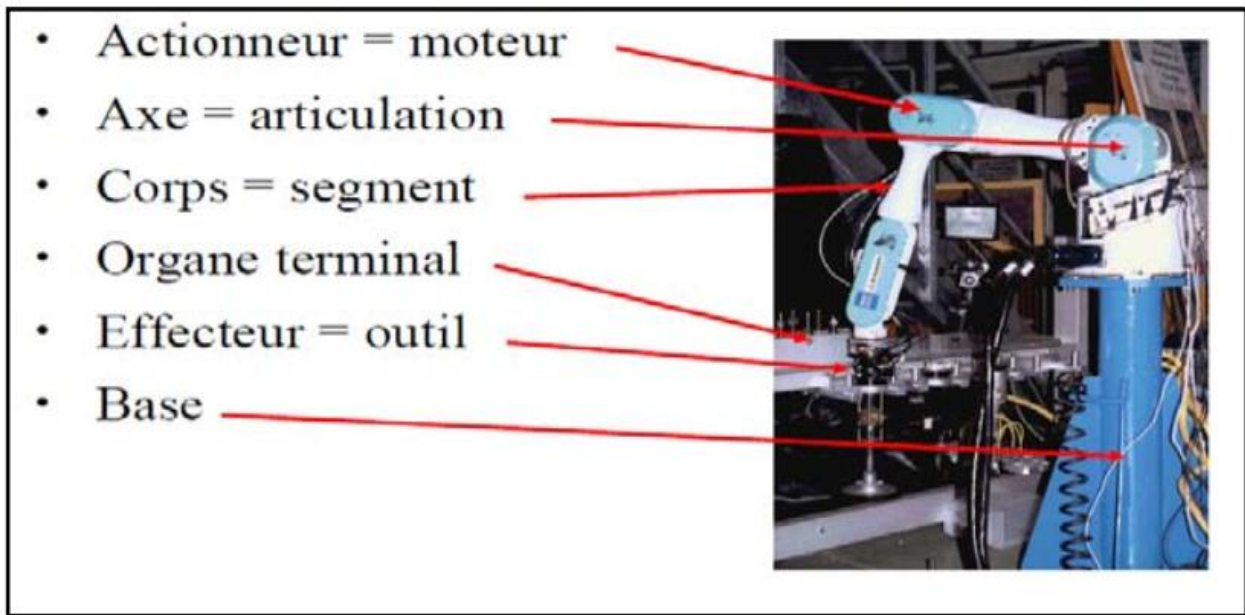


Figure (I.04) : vocabulaire du robot.

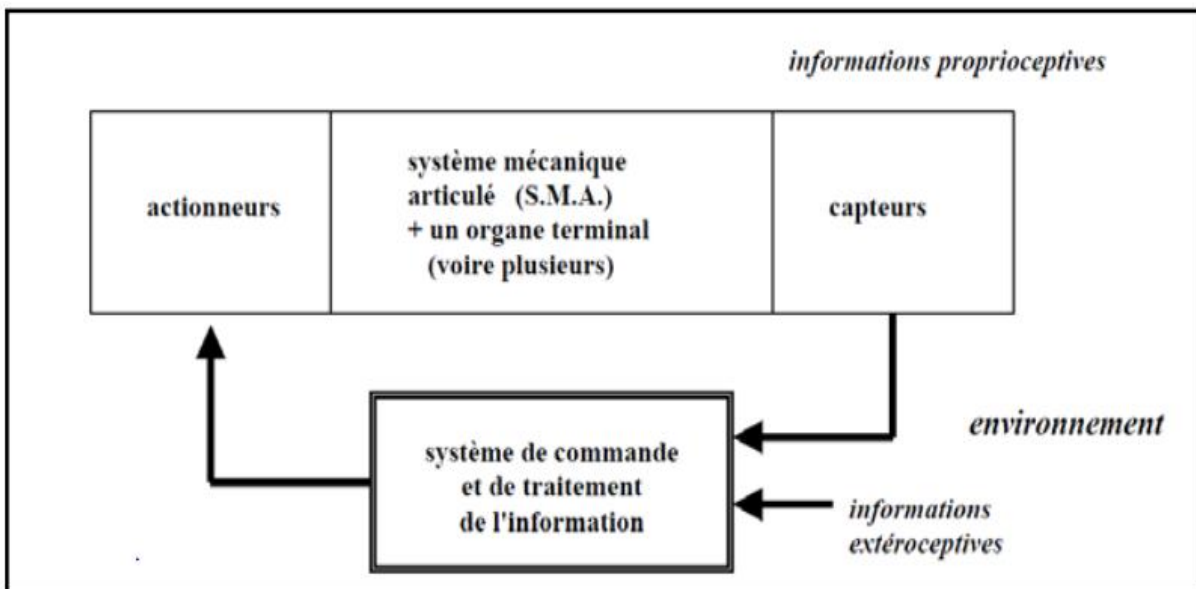


Figure (I.05) : principale d'un robot

I.4.2 Les actionneurs :

Le S.M.A. comporte des moteurs le plus souvent avec 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 (la tension n'est continue qu'en moyenne car en général l'alimentation est un hacheur de tension à fréquence élevée ; bien souvent la vitesse de régime élevée du moteur fait qu'il est suivi d'un réducteur, ce qui permet

d'amplifier le couple moteur). 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).

I.4.3 Les capteurs :

Organes de perception permettent de gérer les relations entre le robot et son environnement. Les capteurs dits **proprioceptifs** lorsqu'ils mesurent l'état interne du robot (positions et vitesses des articulations) et **extéroceptifs** lorsqu'ils recueillent des informations sur l'environnement (détection de présence, de contact, mesure de distance, vision artificielle).

I. 4.4. Unité de contrôle :

L'unité de contrôle a un rôle de communication entre l'utilisateur et le robot, ainsi qu'un rôle d'information par collecter l'information venant des senseurs et l'afficher pour l'utilisateur.

Elle a également un rôle de décision en partant d'une tâche définie et tenant compte des données du système et de l'environnement établir des actions.

I. 5. Classification des robots :

Au cours des années, le développement des robots a permis de distinguer entre plusieurs classes. Pour la JIRA, il existe six classes de robots :

1. les télémanipulateurs qui sont des bras commandés directement par un opérateur humain.
2. les manipulateurs avec séquence fixe qui admettent un contrôle automatique, mais difficile à reprogrammer.
3. les Manipulateurs avec séquence variables qui ont un contrôle automatique et qui sont reprogrammés mécaniquement, c'est l'exemple de « **Pick and Place Manipulators** » ou robot «tout ou rien ».
4. les Robots Play Back qui exécutent des séquences sous la supervision d'êtres humains et les mémorise pour les rejouer (Play Back).

5. les robots à un contrôleur numérique où les positions des séquences sont contrôlées par des données numériques.

6. les robots intelligents qui peuvent réagir dans leur environnement et à des modifications arrivant durant l'exécution .

I. 6. Caractéristiques des robots :

I. 6.1. Volume (espace) de travail : [07]

Le volume accessible par l'outil du robot est le volume qui peut balayer l'outil. Ce volume dépend de la géométrie du robot, de la longueur des segments et du débattement des articulations (limité par des butées).

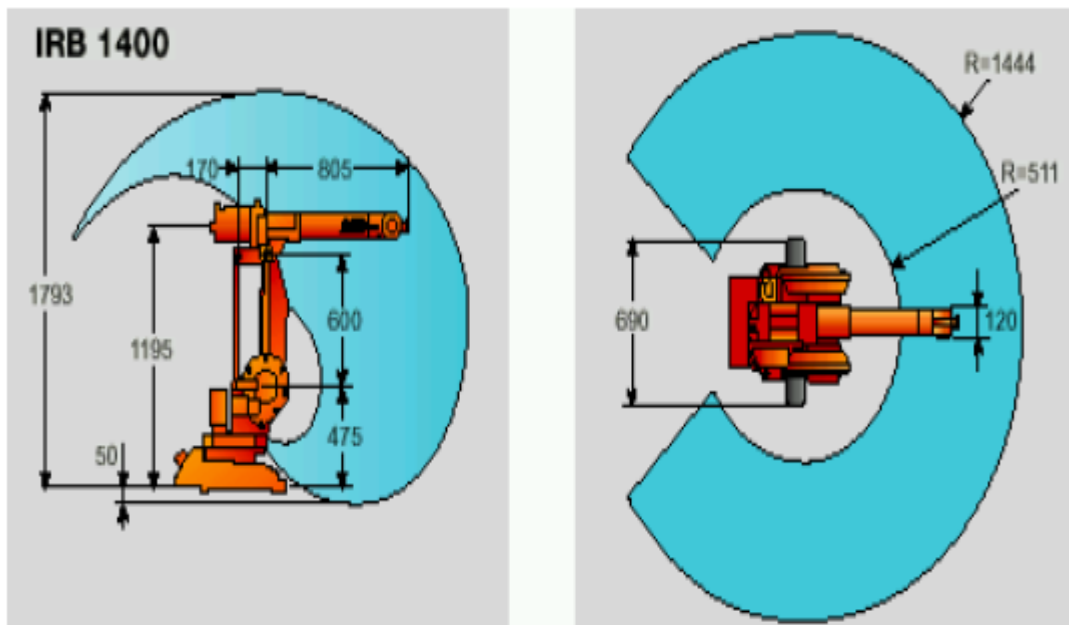


Figure (I.06) : volume de travail d'un robot.

I. 6.2 Précision / Répétabilité :

a. **La précision** : du robot manipulateur est défini par l'écart entre la situation programmée et la situation moyenne. Elle caractérise l'aptitude du robot à situer l'organe terminal en conformité avec la situation programmée.

b. **La répétabilité** : d'un robot est l'erreur maximale de positionnement répété de l'outil en tout point de son espace de travail.

En général, la répétabilité < 0.1 mm.

I. 6.3. Vitesse et accélération maximale :

C'est la vitesse de translation ou de rotation de chaque axe du robot. Souvent les constructeurs donnent une vitesse maximale de l'outil ou l'organe terminal.

L'accélération maximale : dépend de l'inertie, donc de la position du robot. Pour chaque axe, cette accélération est donnée dans la configuration la plus défavorable (inertie maximale, charge maximale).

I. 6.4. Charge utile :

C'est la charge qui garantit une durée de vie la plus longue possible. Donc, c'est la charge maximale qui peut porter le robot sans perturber ni la répétabilité ni les performances dynamiques du robot. Cette charge utile est nettement inférieure à la charge maximale que peut porter le robot et directement dépendante des actionneurs.

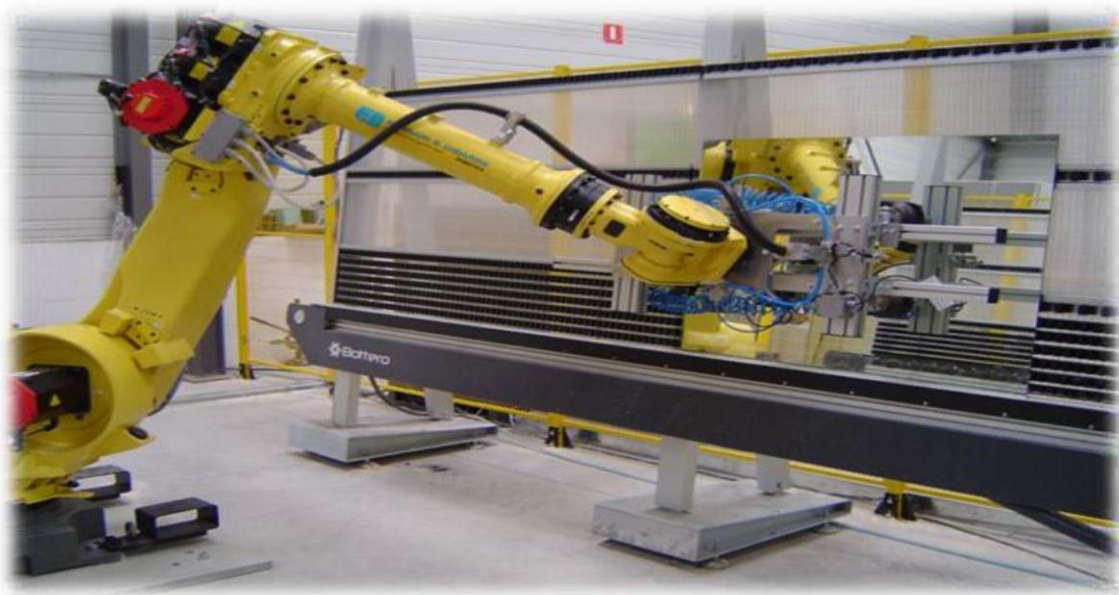


Figure (I.07) :Exemple de robots manipulateurs

I. 7. Architecture des robots : [04]

Un robot comporte 02 parties essentielles :

I. 7.1. Le porteur:

Est une structure mécanique articulée constituée des 03 premiers **degrés de liberté** à partir de la base. Si « P » est un point de l'extrémité et \mathbf{R}_0 un repère lié à la base, le rôle du porteur est de fixer la position de P dans \mathbf{R}_0 .

Les liaisons utilisées sont des liaisons pivot notées **R** ou prismatique notées **P**

I. 7.2. Le poignet:

Il est destiné pour donner l'orientation de la pince ou de l'outil porté par le robot.

La façon dont les liaisons motorisées sont réparties de la base au poignet défini trois grandes classes d'architecture :

- Architecture série (ou chaîne cinématique ouverte).
- Architecture parallèle(ou chaîne cinématique).
- Architecture mixte (série- parallèle ou parallèle).

Remarque : les robots industriels sont généralement de type chaîne ouvert simple.

I. 8. Classification géométrique :[05]

On peut aussi classer les robots suivant leur configuration géométrique, autrement dit l'architecture de leur porteur. Les 03 premiers d.d.l d'un robot peuvent être réalisés avec un grand nombre de combinaisons de translations (max. 3T) et de rotations (max. 3R), autrement dit par des articulations **prismatiques** (P) ou **rotoïdes** (R) ; en pratique, on n'utilise que 4 ou 5 d'entre elles :

1. porteur cartésien (TTT ou PPP) : les 3 axes sont animés d'un mouvement de translation.
2. porteur en coordonnées cylindriques (RTT ou RPP) : un mouvement de rotation et une translation axiale, complétées par une translation radiale³
3. porteur en coordonnées polaires ou sphériques (RRT ou RRP) : deux rotations (longitude et latitude) autour d'axes orthogonaux, complétées par une translation radiale.
4. porteur en coordonnées universelles, appelé aussi configuration poly articulée ou anthropomorphe (RRR), trois rotations dont les deux dernières se font autour d'axes parallèles

orthogonaux au premier, les trois articulations correspondant respectivement au tronc (base), à l'épaule et au coude d'un être humain.

I. 9. Les différents types des robots : [02]

I. 9.1. Les robots SCARA

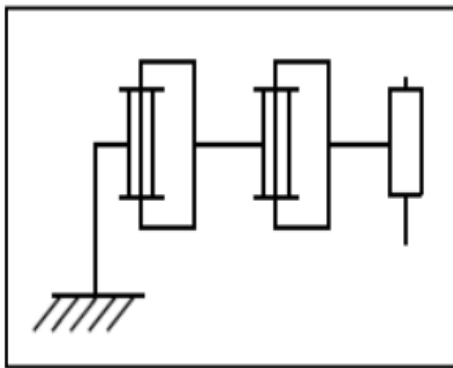


Figure (I.08) :schéma de Les robots

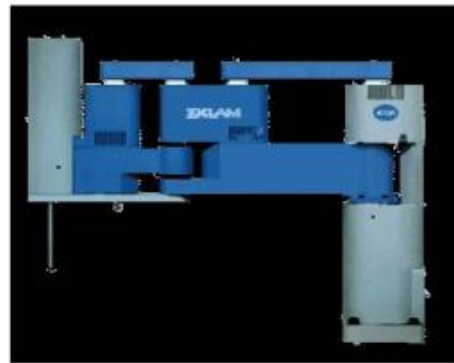


Figure (I.09) :Robot Sankyo

I. 9.2. Les robots cylindriques :

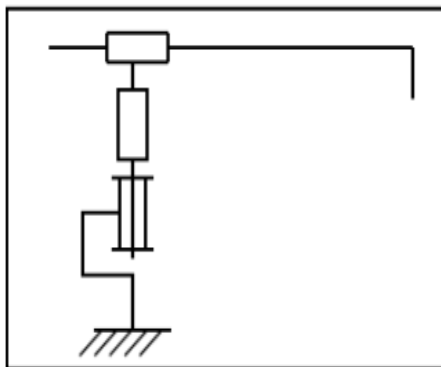


Figure (I.10) : Le robot cylindrique



Figure (I.11) :Robot Seiko

I. 9.3. Les robots sphériques :

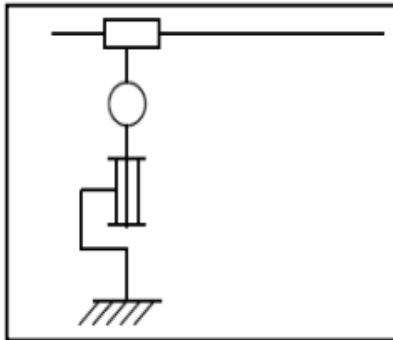


Figure (I.12) : robot sphérique



Figure (I.13) : ROBOT FANUC

I. 9.4. Les robots Cartésiens :

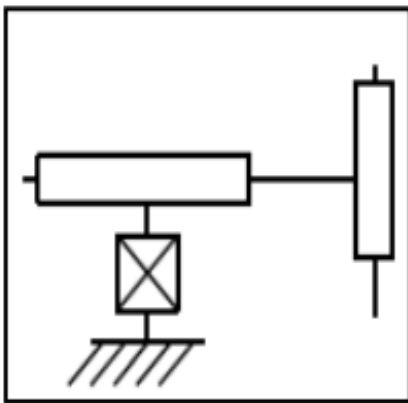


Figure (I.14) : robot Cartésien

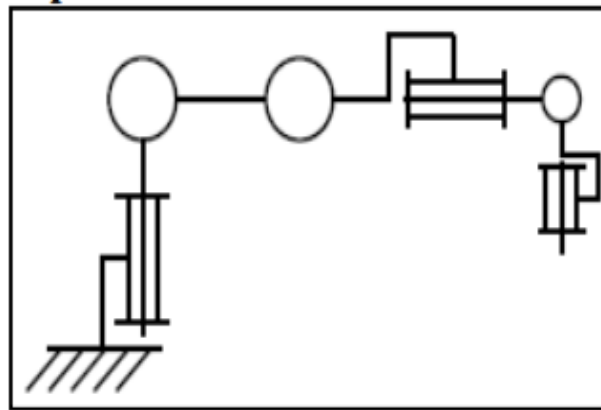


Figure (I.15) : robot Toshiba

I. 9.5. Les robots parallèles :



Figure (I.16) : robot COMAU

I. 9.6. Les robots anthropomorphes :**Figure (I.17) : robot anthropomorphe****I. 10. 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. Quelques exemples de domaines d'application différents seront cités par la suite.

I. 10.1 Robots industriels de soudage :

Le soudage robotisé des châssis de voiture (illustré dans la figure 18) améliore la sécurité car un robot ne manque jamais son point de soudure et les réalise toujours de la même manière tout au long de la journée. A peu près 25% des robots industriels sont impliqués dans différentes opérations de soudure.



Figure (I.18) : Robots manipulateurs industriels de soudage

I. 10.2. Robots manipulateurs de service aux humains :

Le manipulateur médical (MKM) produit par CARL ZEISS en Allemagne, consiste en un bras manipulateur à 6 ddl servo-contrôlés pour un contre-balancement du poids, un ordinateur de contrôle et une station de travail graphique pour la visualisation et la programmation.



Figure (I.19) : Manipulateur médical (MKM).

I. 10.3. Robots manipulateurs de service aux équipements :

Les robots peuvent également s'avérer utiles dans le domaine de l'aviation. En effet, "Skywash" (Putzmeister Werke, Germany) peut diminuer par un facteur de 2 le temps de lavage

d'un avion. Skywash intègre toutes les composantes d'un système robotique avancé : pré-programmation des mouvements à partir d'un modèle CAO de l'avion, localisation automatique des objets par des capteurs 3-D, un asservissement du mouvement par des capteurs tactiles, une architecture fortement redondante (11 d.d.l) installée sur une base mobile et une sécurité de fonctionnement maximale. Le manipulateur agit sous la supervision d'un être humain



Figure (I.20) : Robot Skywash



Figure (I.21) : Robot pompiste



Figure (I.22) : Robot de construction



Figure (I.23) : robot Computer motion



Figure (I.24):robot Assistance aux personnes Handicapées

Conclusion

Ce chapitre fait l'objet d'une description sur le domaine de la robotique industrielle, les manipulateurs et leurs domaines application, ainsi que la classification des robots.

Dans le chapitre suivant, une description du bras manipulateur *ROB3* est présentée, ainsi que la modélisation géométrique direct et inverse, dans le but de le simuler et programmer.

CHAPITRE 2 :

Modélisation Géométriques

Direct et Inverse

Introduction

La conception et la commande des robots nécessitent le calcul de certains modèles mathématiques tel que le modèle géométrique direct et inverse qui expriment la situation de l'organe terminal par rapport à un repère lié à la base.

Dans ce chapitre on va voir la définition et la description du robot type ROB3 ainsi que la modélisation géométrique directe et inverse.

II. 1. présentation du robot ROB3 : [02]

Le *ROB3* est un robot de haute qualité de formation, particulièrement conçu pour l'usage dans toutes les sphères d'éducation et de formation de robotique. Le bras articulé de *R3* a cinq axes et une pince, qui sont actionnées par les servomoteurs à courant continu. La position absolue de tous les axes est déterminée par les capteurs de position rotatoires potentiométriques.



Figure (II.01) : bras manipulateur *ROB3*

II. 1.1..Description cinématique du bras manipulateur :

La figure02 présente un exemple d'une représentation schématique d'une chaîne cinématique d'un robot à 2 axes. Le tableau 01 présente la signification des différents éléments de la figure 02 Pour une classification des types des robots, la cinétique des axes.

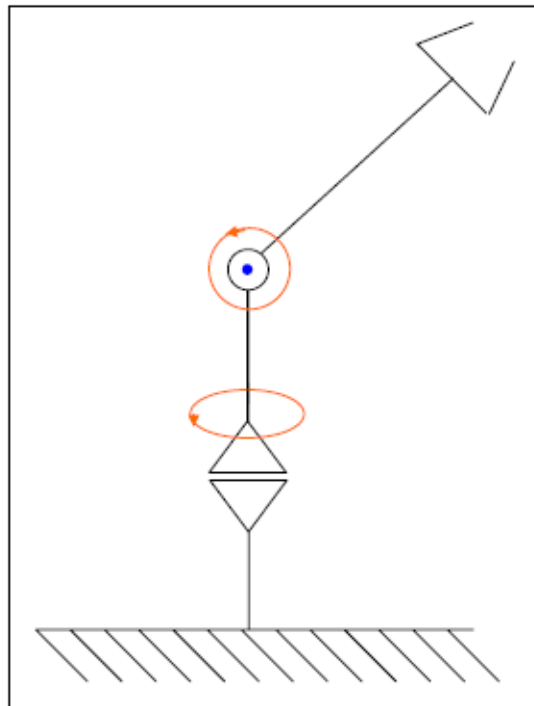


Figure (II.02) : Représentation schématique d'une chaîne cinématique.

Tableau (II.01) : Tableau des symboles

Nom	Symbole
Axe prismatique	
Axe rotoïde	
Outil actionneur	
Joint	

II. 1.2. Propriétés électriques :

Le bras du robot *ROB3* possède un système de contrôle intégré qui peut être programmé directement à travers un clavier «l'unité *TEACHBOX*». Le bras est configuré en introduisant une séquence d'instructions pour faire bouger le bras vers des positions désirées, ces instructions sont mémorisées dans une mémoire qui représente un programme de commande. Notons que *ROB3* peut aussi être commandé par un *PC* via une interface série *RS232*. Le contrôleur est intégré dans la base du *ROB3*. Un processeur **8031** constitue le cœur du contrôleur. Les programmes utilisés peuvent être stockés dans une mémoire auxiliaire. La capacité de mémoire est de 8 ko, ce qui correspond à environ 1000 instructions. En outre, le bras peut être connecté avec un *PC* via l'interface série *RS 232*. Par contre, 8 entrées/sorties digitales sont à la disposition de l'utilisateur par l'intermédiaire d'un connecteur port parallèle

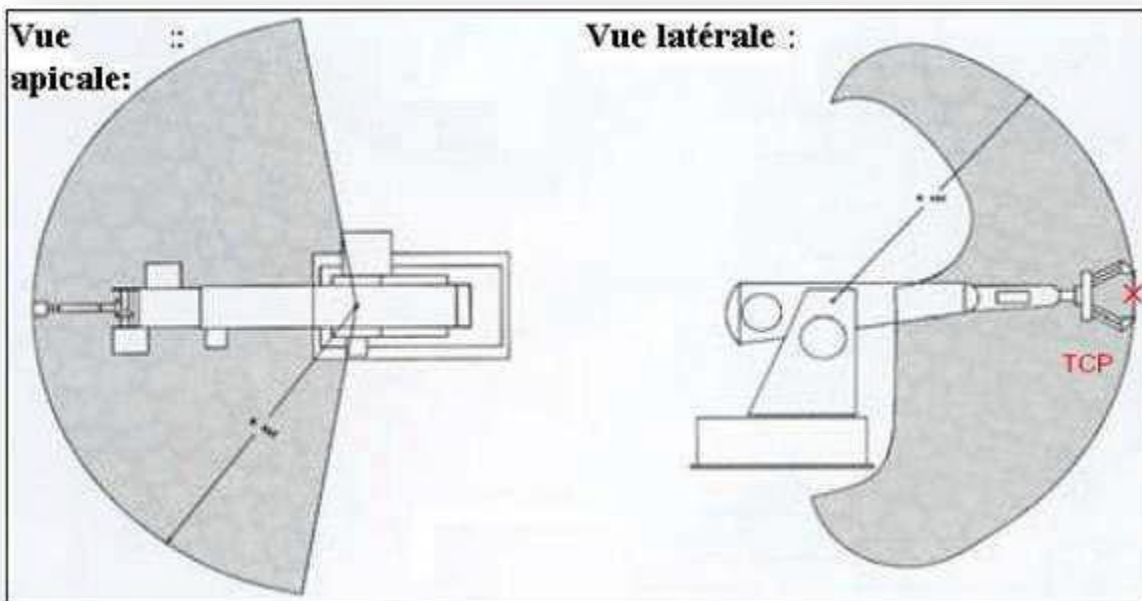


Figure (II.03): L'espace de travail du bras robotique *ROB3*.

La pince est alimentée par un servomoteur à courant continu par le biais d'un câble comme le montre la Figure 04. De très minces pièces peuvent être manipulées par l'outil. Le manipulateur *ROB3* fait partie des robots de hautes qualités qui a démontré sa fiabilité durant plusieurs années, dans tous les domaines de l'éducation et de la formation. Bien que l'objet d'un processus continu d'amélioration de la fiabilité du modèle, 5 axes rotatifs et une pince parallèle, plusieurs possibilités

d'applications peuvent être réalisées. Comme le contrôleur est intégré dans la base du robot, un accès facile et rapide d'installation et la mise en œuvre peut être assurée avec une facilité d'utilisation.

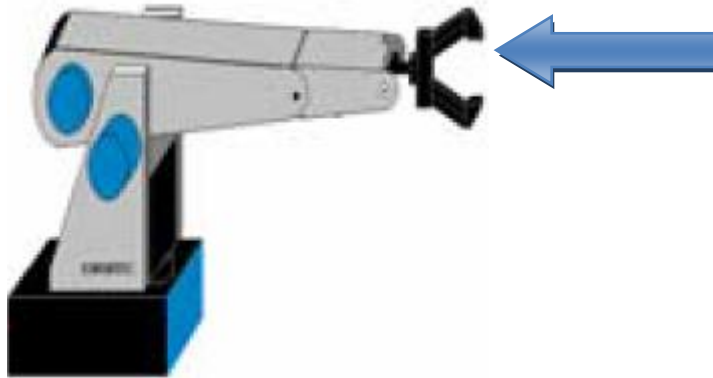


Figure (II.04) : la pince du robot ROB3.

II. 1.2.a. L'unité TEACHBOX :

Le TEACHBOX (voir Figure 05) permet de contrôler et programmer le ROB3 sans utiliser un ordinateur, en utilisant un clavier digital avec 25 boutons, répartis en trois groupes :

1. Boutons numériques qui sont utilisés pour introduire le numéro de l'axe désigné et la valeur de la position sous forme de valeur décimale,
2. Boutons de commandes : pour indiquer la commande à exécuter directement (*RUN*, *STOP*, *INS*, *DEL*, *POS*, *OUT*),
3. Boutons d'instructions : pour implanter le programme d'instructions de commande, (*POS*, *TIM*, *OUT*, *MARK*, *IF*, *GOTO*, *NOP*). Une fois l'instruction est introduite, elle est sauvegardée dans la mémoire du robot par ordre d'entrée (*FIFO*) et elles sont exécutées en mode *RUN* ou *STEP*.

Pour programmer le bras il suffit de connecter le *ROB3* avec le *TEACHBOX* via le câble série *RS232*.



Figure (II.05) : unité de commande *TEACHBOX*.

II. 1.3. Propriétés mécaniques :

La structure *ROB3* est composée de pièces en aluminium vissées entre elles. Chacun des cinq axes indépendants est lié par un servomoteur à courant continu. La puissance de transmission est assurée par des engrenages. Pour la transmission des axes 3 et 4, des chaînes dentées sont utilisées en plus. Les positions absolues de tous les axes sont déterminées par des capteurs potentiométriques. Cette caractéristique la plus marquante du *ROB3* garantit que, même après le passage à une autre position, le robot repère la position exacte de chaque axe. Comme il est représenté dans la Figure 06, le bras manipulateur *ROB3* possède en total 5 axes de rotations. Le tableau 02 permet de représenter les différentes limites des angles du bras manipulateur.

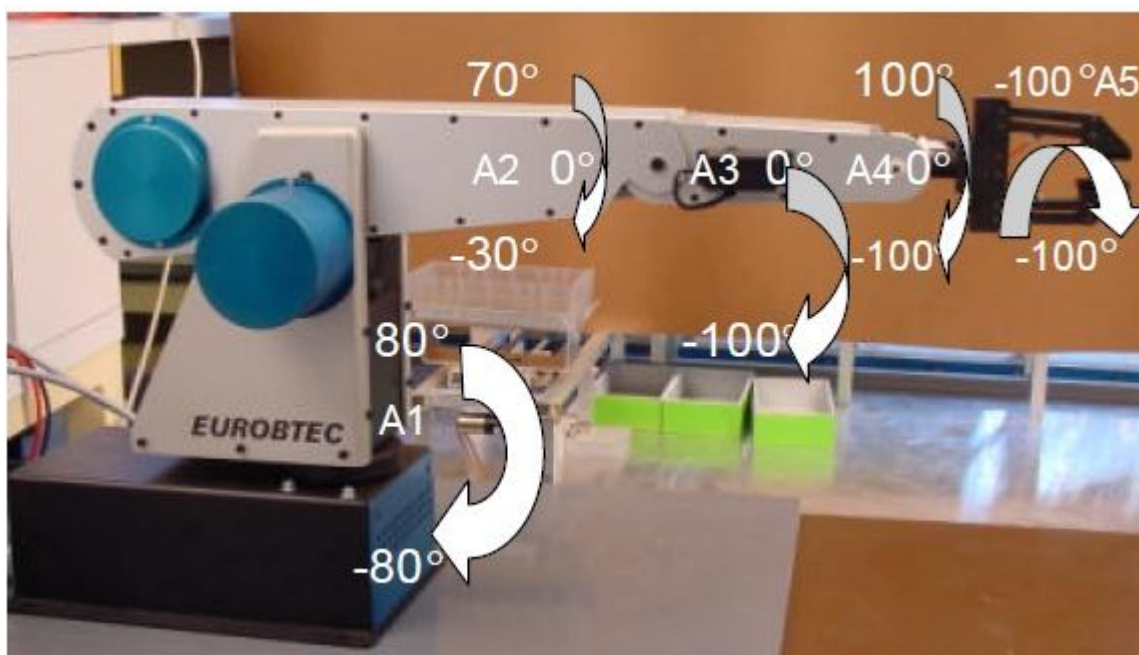


Figure (II.06) : Limites des axes du ROB3

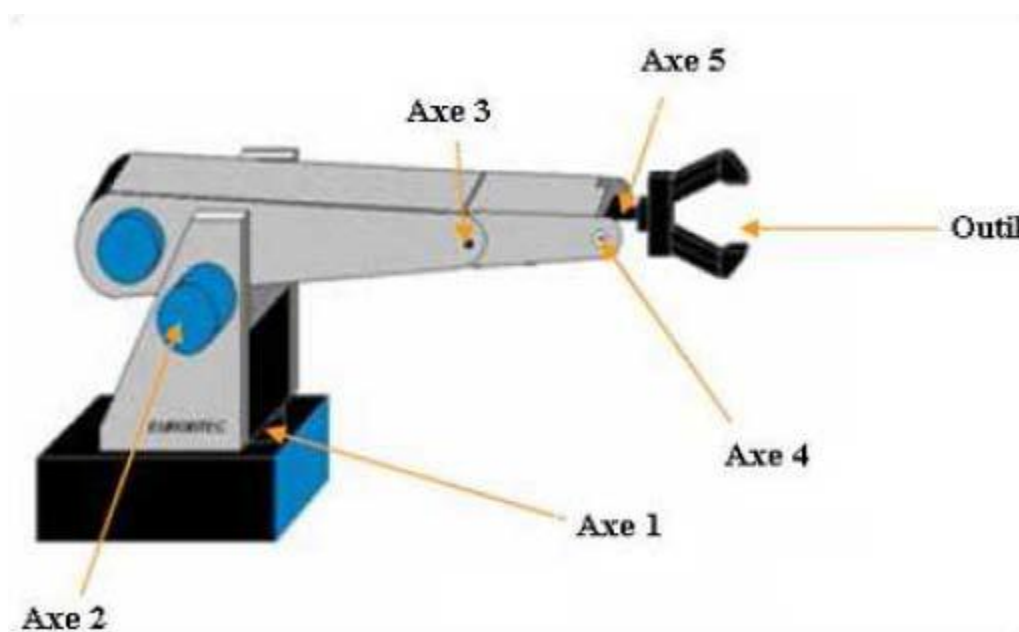


Figure (II.07) : Axes du robot ROB3.

Tableau (II.02) :les angles de rotation du robot ROB3.

Les articulateurs	Axe	Limite articulaire
Axe 1 :Base	O1	+80°...0°....-80°
Axe 2 :Epaule	O2	+70°....0°.....-30°
Axe 3 :Coude	O3	0.....-100°
Axe 4 :Poignet	O4	+100° ...0° ...-100°
Axe 5 :Orientation	O5	+100° ...0° ...-100°
Outil(pince)		0....60mm

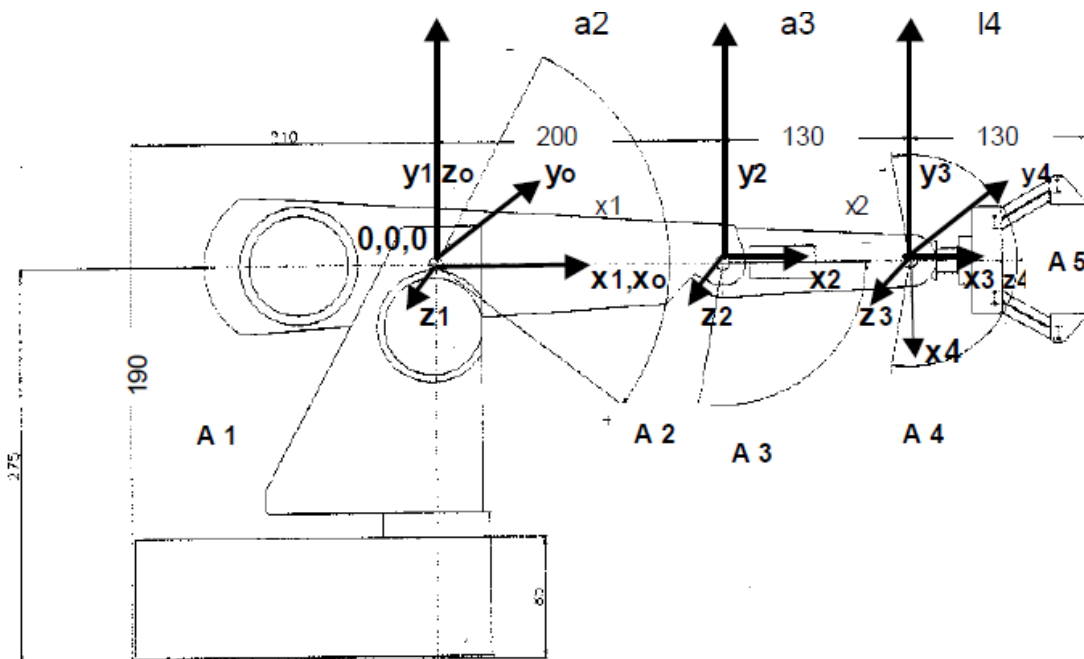


Figure (II.08) :Les dimensions du robot ROB3(vue de face)

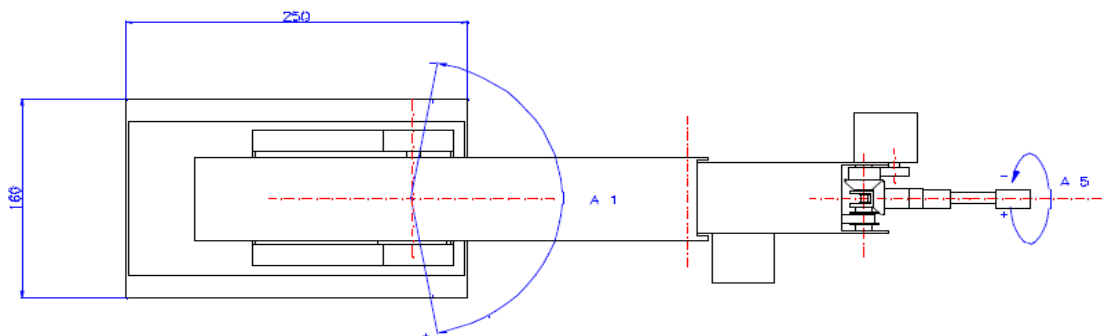


Figure (II.09) : Les dimensions du robot ROB3(vue de haut)

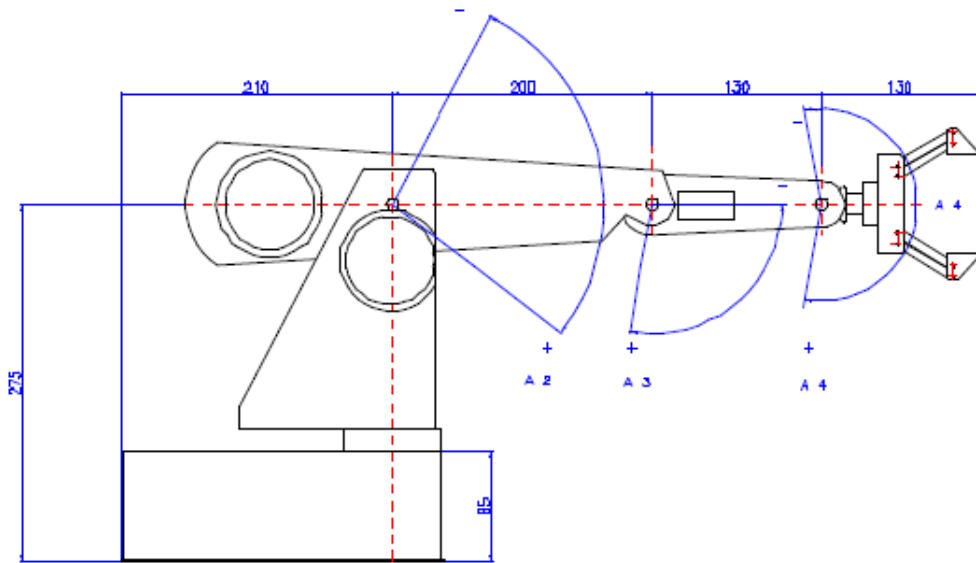


Figure (II.10) : Les dimensions du robot *ROB3* (vue de face).

La description de leur morphologie. Plusieurs méthodes et notations ont été proposées, la plus répandue est celle de DENAVIT-HARTENBERG mais cette méthode .développée pour des structures ouvertes simples, présente des ambiguïtés lorsqu'elle est appliquées sur des robots ayant des structures fermées ou arborescente. C'est pourquoi, on utilise la notation de Khalil etKleinfinger qui permet la description homogène, et avec un nombre minimum de paramètres

II. 2.Le Modèle Géométrique Direct et Inverse:[08]

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

Il permet de déterminer la configuration (position, orientation) de l'effecteur d'un robot en fonction de la configuration de ses liaisons.

L'effecteur peut être une pince, une caméra, une pompe de peinture, ... etc.

Le modèle géométrique direct est utilisé pour caractériser le fonctionnement d'un bras manipulateur. Concrètement, le modèle géométrique direct permet de calculer la configuration de l'organe terminal(effecteur) du robot en fonction de la position de chaque moteur(liaison) du robot.

Le modèle géométrique direct du robot peut se représenter aussi par la relation : $X=f(q)$

Où X est le vecteur des coordonnées opérationnelles exprimées dans le repère de référence R_0 , et q les variable articulaires.

Le modèle géométrique inverse permet de déterminer la configuration des liaisons, en fonction de la configuration (position et orientation) de l'effecteur d'un robot. Il existe 2 types de liaisons, les liaisons pivots et les liaisons glissières.

- La liaison pivot permet des mouvements de rotation et est caractérisée par un angle.
- La liaison glissière permet des mouvements de translation et est caractérisée par une distance.

Le modèle géométrique inverse est utilisé pour caractériser le fonctionnement d'un bras manipulateur. Concrètement le modèle 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).

II. 3. Convention de Denavit :

C'est la méthodologie à suivre pour décrire les robots à structure ouverte simples :

- Une structure ouverte simple est composée de $n+1$ corps notés C
- Le corps C_0 désigne la base du robot.
- L'articulation j connecte le corps C_j et le corps C_{j+1}

II. 4. But de la modélisation géométrique et les considérations : [03]

On utilise la modélisation géométrique pour déterminer la relation entre la position X, Y, Z du robot, et les coordonnées articulaires correspondantes.

On prend en considération les butés (limites articulaires), dimensions des segments et positions du repère principal.

II. 5. Paramètres géométriques pour une structure ouverte simple :

La variable articulaire q_j associée à l'articulation j , est soit θ_j soit r_j , selon que la dite articulation est rotoïde ou prismatique. Cela se traduit par la relation :

$$q_j = (1 - \sigma_j) \theta_j + \sigma_j r_j$$

$$\sigma_j = 0 \text{ si l'articulation est rotoïde,}$$

$$\sigma_j = 1 \text{ si l'articulation est prismatique}$$

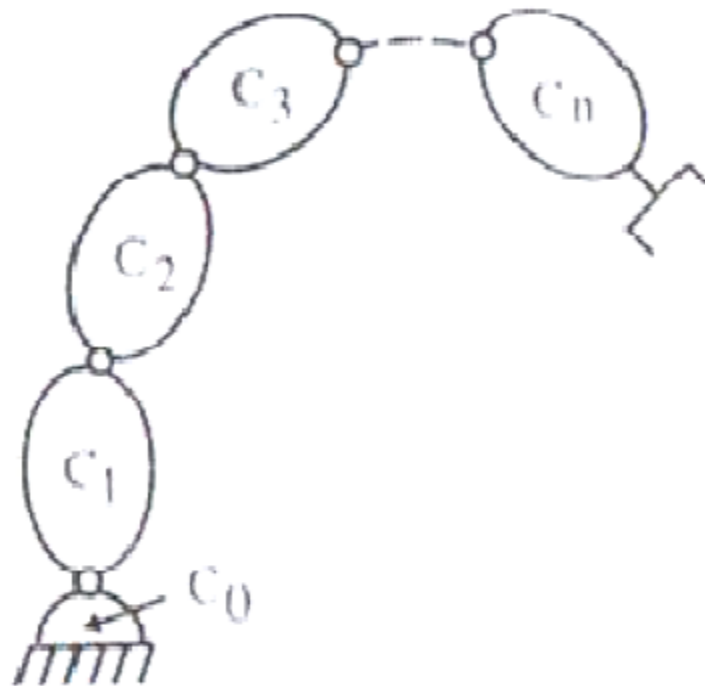


Figure (II.11) : Robot à Structure Ouverte Simple

II. 6. Modélisation des bras manipulateurs :

II. 6.1. Configuration et situation d'un bras manipulateur :

De manière classique, la configuration d'un système mécanique est connue quand la position de tous ses points dans R_0 est connue [Neimark 72]. Pour un bras manipulateur, elle est définie par un vecteur q de n coordonnées indépendantes appelées coordonnées généralisées. La configuration est alors naturellement définie sur un espace N dont la dimension n est appelée indice de mobilité. N est appelé espace des configurations. Les coordonnées généralisées correspondent aux grandeurs caractéristiques des différentes articulations: angles de rotation pour les liaisons rotoïdes, translations pour les liaisons prismatiques. On note $q = (q_1 \ q_2 \ \dots \ q_n)^T$.

La situation x de l'OT du bras manipulateur est alors définie par m coordonnées indépendantes dites coordonnées opérationnelles, qui donnent la position et l'orientation de l'OT dans R_0 . On définira généralement la situation en fonction de la tâche à accomplir : par exemple on pourra ne considérer que la position de l'OT et non plus son orientation. Dans tous les cas, la situation de l'OT est définie sur un espace M , de dimension m [Khatib 86].

On note $x = (x_1 \ x_2 \ \dots \ x_m)^T$.

Le choix le plus commun pour les paramètres de position est celui des coordonnées cartésiennes. L'expression de l'orientation de l'OT dépend du choix des paramètres angulaires.

II. 7. Modèle Géométrique Direct :[04]

Le modèle géométrique direct (MGD) d'un bras manipulateur exprime la situation de son OT en fonction de sa configuration :

$$F : N \rightarrow M$$

$$q \rightarrow x = f(q)$$

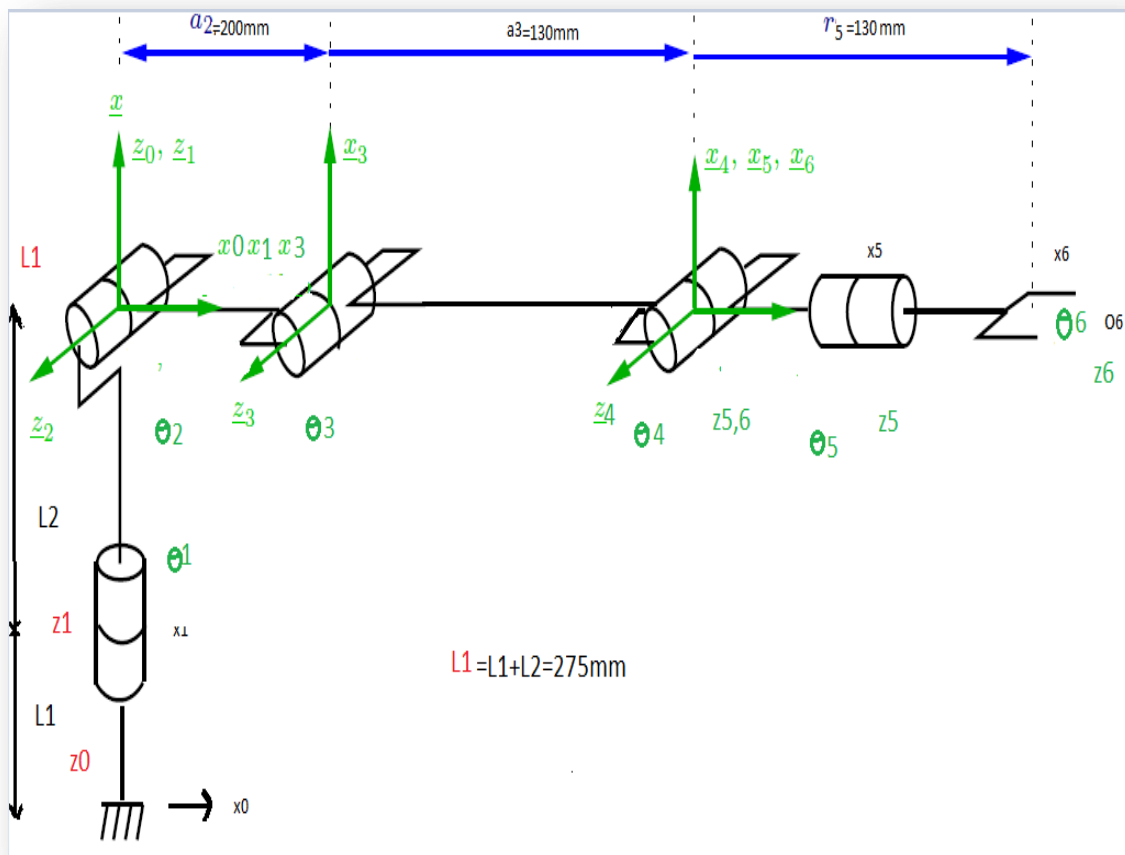
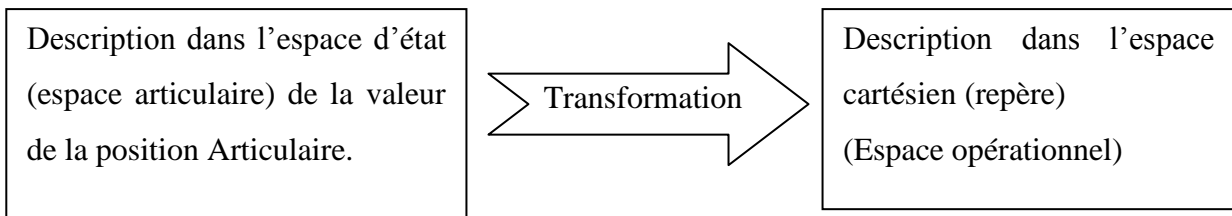


Figure (II.12) : Paramètres géométriques du robot ROB3

Tableau (II.03) : paramètres de Denavit-Hartenberg

0T_n	0T_1	1T_2	2T_3	3T_4	4T_5
Articulation	1	2	3	4	5
Paramètre					
$\alpha_{i-1}(\alpha_j)$	0	$\frac{\pi}{2}$	0	0	$\frac{\pi}{2}$
$a_{i-1} (d_j)$	0	0	a2	a3	0
θ_i	θ_1	θ_2	θ_3	θ_4	θ_5
$r_i (r_j)$	L_i	0	0	0	r_5

II. 7.1. Les paramètres de Denavit -Hartenberg:

Le passage du repère R_j géométriques suivants :Figure13

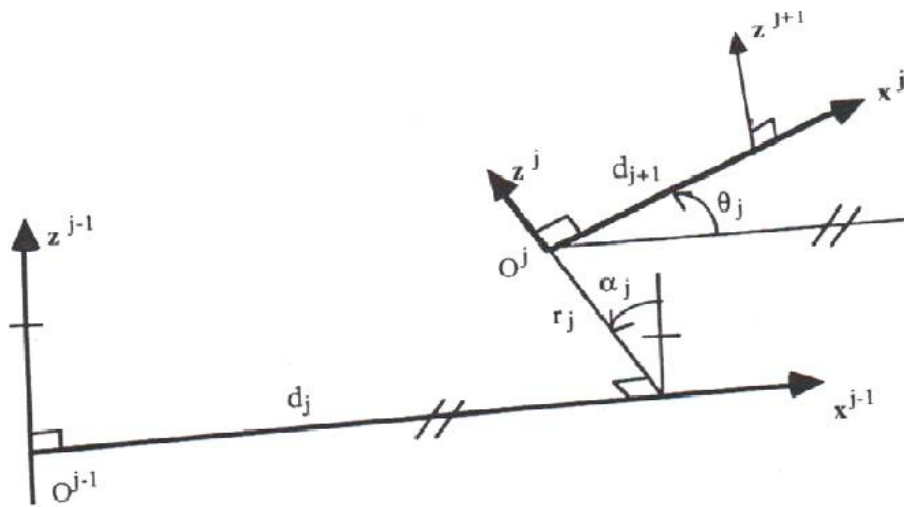


Figure (II.13) : Paramètres géométriques pour une structure ouverte simple.

1/ α_j : angle entre les axes z_{j-1} et z_j correspondant à une rotation autour de x_{j-1}

2/ d_j : distance entre z_{j-1} et z_j le long de x_{j-1}

3/ θ_j : angle entre les axes x_{j-1} et x_j correspondant à une rotation autour de z_j

4/ r_j : distance entre x_{j-1} et x_j le long de z_j

(avec $\theta_i=0$ si l'articulation est rotoïde,

$\theta_i=1$ si l'articulation est prismatique).

Sachant que la notation suite est utilisée:

$\cos(\theta_1) = c_1$	$\sin(\theta_1) = s_1$	$\cos(\theta_2) = c_2$	$\sin(\theta_2) = s_2$	$\cos(\theta_3) = c_3$
$\sin(\theta_3) = s_3$	$\cos(\theta_4) = c_4$	$\sin(\theta_4) = s_4$	$\cos(\theta_5) = c_5$	$\sin(\theta_5) = s_5$
$\cos(\theta_2 + \theta_3) = c_{23}$		$\cos(\theta_2 + \theta_3 + \theta_4) = c_{234}$		
$\sin(\theta_2 + \theta_3) = s_{23}$		$\sin(\theta_2 + \theta_3 + \theta_4) = s_{234}$		

II. 7.2.Calcul du MGD du bras ROB3 :[05]

$${}^{j-1}T_j = \text{Rot}(x, \alpha_j) \times \text{Trans}(x, d_j) \times \text{Rot}(z, \theta_j) \times \text{Tras}(z, r_j)$$

$${}^{j-1}T_j = \begin{bmatrix} \cos\theta_i & -\sin\theta_i & 0 & d_i \\ \cos\alpha_i \sin\theta_i & \cos\alpha_i \cos\theta_i & -\sin\alpha_i & -r_i \sin\alpha_i \\ \sin\alpha_i \sin\theta_i & \sin\alpha_i \cos\theta_i & \cos\alpha_i & r_i \cos\alpha_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

En appliquant la formule précédente de T_i et en utilisant le tableau de D-H, on obtient les résultats suivants :

$$T_{01} = \begin{bmatrix} C_1 & -S_1 & 0 & 0 \\ S_1 & C_1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & L_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad T_{12} = \begin{bmatrix} C_2 & -S_2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 \\ S_2 & C_2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad T_{23} = \begin{bmatrix} C_3 & -S_3 & 0 & a_2 \\ S_3 & C_3 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$T_{34} = \begin{bmatrix} C_4 & -S_4 & 0 & a_3 \\ S_4 & C_4 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad T_{45} = \begin{bmatrix} C_5 & -S_5 & 0 & r_5 \\ 0 & 0 & -1 & 0 \\ S_5 & C_5 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Pour exprimer la position et l'orientation de l'OT dans le repère R_0 lié à la base, il est impératif de calculer $T_{0,4}$ qui exprime le passage du repère R_4 au repère R_0 donné par la formule suivante :

$$T_{0,5} = T_{0,1} \times T_{1,2} \times T_{2,3} \times T_{3,4} \times T_{4,5} \dots\dots\dots (..)$$

Pour des raisons de simplification (articulations de même type consécutives et parallèles) ; on commence par $T_{1,2} \cdot T_{2,3}$ pour trouver $T_{1,3}$:

$$T_{1,3} = T_{1,2} \times T_{2,3} = \begin{bmatrix} C_2C_3 - S_2S_3 & -(C_2S_3 + S_2C_3) & 0 & C_2a_2 \\ 0 & 0 & -1 & 0 \\ -S_2C_3 + C_2S_3 & -S_2S_3 + C_2C_3 & 0 & -S_2a_2 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$\rightarrow T_{1,3} = \begin{bmatrix} C_{2+3} & -S_{23} & 0 & C_2a_2 \\ 0 & 0 & -1 & 0 \\ S_{2+3} & C_{23} & 0 & S_2a_2 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Ensuite, calculer $T_{3,5}$

$$T_{3,5} = T_{3,4} \times T_{4,5} = \begin{bmatrix} C_4C_5 & -C_4S_5 & S_4 & C_4r_5 + a_3 \\ S_4C_5 & -S_4S_5 & -C_4 & S_4r_5 \\ S_5 & C_5 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$\rightarrow T_{3,5} = \begin{bmatrix} C_{45} & -C_4S_5 & S_4 & C_4r_5 + a_3 \\ S_4C_5 & -S_4S_5 & -C_4 & S_4r_5 \\ S_5 & C_5 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$T_{1,5} = T_{1,3} \times T_{3,5} =$$

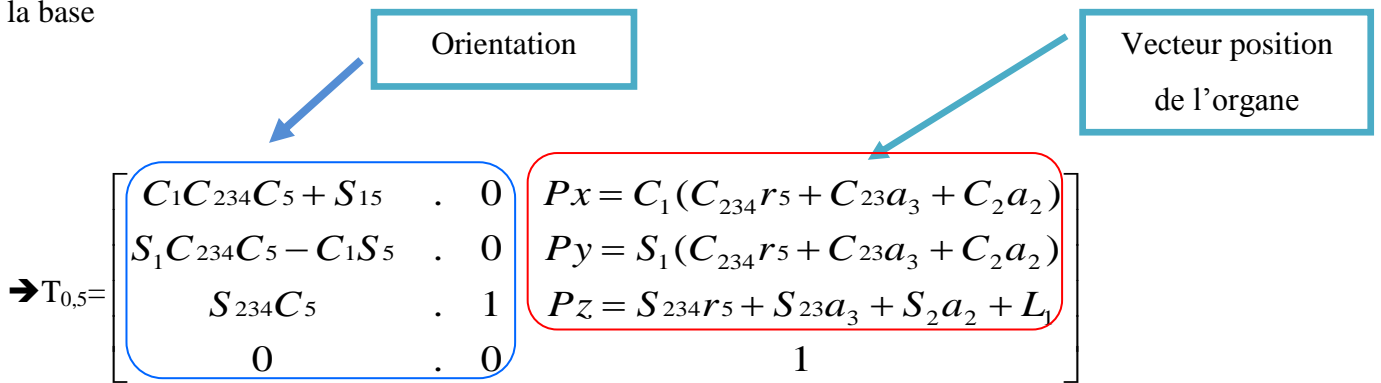
$$\begin{bmatrix} C_{2+3}C_{45} - S_{43}(S_4C_5) & -C_{2+3}(C_4S_5) + S_{2+3}(S_4S_5) & C_{2+3}(S_4) + S_{2+3}(C_4) & C_{234}r_5 + C_{23}a_3 + C_2a_2 \\ -S_5 & -C_5 & 0 & 0 \\ S_{2+3}C_{45} + C_{2+3}(S_4C_5) & -S_{2+3}(C_4S_5) - C_{2+3}(S_4S_5) & S_{2+3}(S_4) - C_{2+3}(C_4) & S_{234}r_5 - S_{23}a_3 + S_2a_2 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$T_{1,5} = \begin{bmatrix} C_{234}C_5 & -C_{234}S_5 & S_{234} & C_{234}r_5 + C_{23}a_3 + C_2a_2 \\ -S_5 & -C_5 & 0 & 0 \\ S_{234}C_5 & -S_{234}S_5 & -C_{234} & S_{234}r_5 - S_{23}a_3 + S_2a_2 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Et finalement $T_{0,5}$

$$T_{0,5} = T_{0,1} \times T_{1,5} = \begin{bmatrix} C_1 C_{234} C_5 + S_{15} & -C_1 C_{234} S_5 + S_{15} & C_1 S_{234} & C_1 (C_{234} r_5 + C_{23} a_3 + C_2 a_2) \\ S_1 C_{234} C_5 - C_1 S_5 & -S_1 C_{234} S_5 - C_{15} & S_1 S_{234} & S_1 (C_{234} r_5 + C_{23} a_3 + C_2 a_2) \\ S_{234} C_5 & -S_{234} S_5 & -C_{234} & S_{234} r_5 + S_{23} a_3 + S_2 a_2 + L_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Ainsi, on obtient la matrice $T_{0,5}$ qui résume la position et l'orientation de l'OT par rapport à la base



$$P_x = C_1 (C_{234} r_5 + C_{23} a_3 + C_2 a_2)$$

$$P_y = S_1 (C_{234} r_5 + C_{23} a_3 + C_2 a_2)$$

$$P_z = S_{234} r_5 + S_{23} a_3 + S_2 a_2 + L_1$$

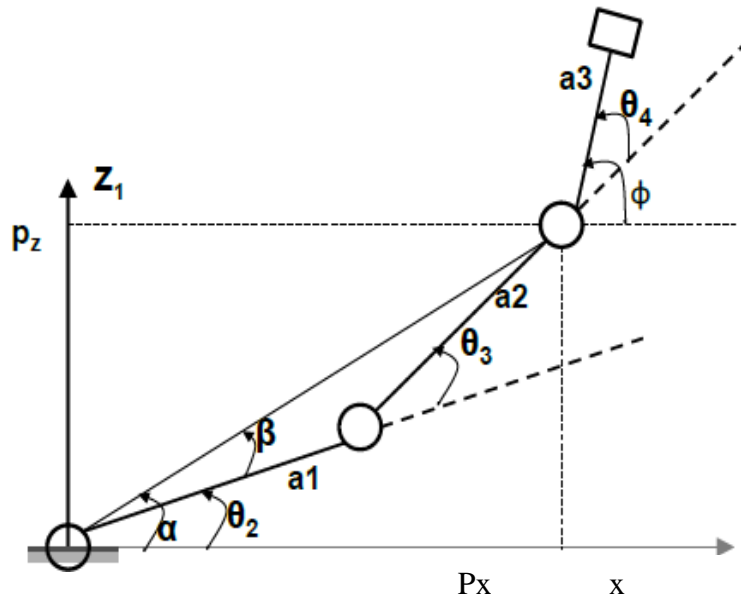
II. 8. Modèle Géométrique Inverse :

Il s'agit de déterminer les coordonnées articulateurs q permettant d'obtenir une situation désirée pour l'organe terminal et spécifiée par les coordonnées opérationnelles X

Il n'existe pas de méthode systématique d'inversion du modèle géométrique. Lorsqu'elle existe, la forme explicite, issue d'une inversion mathématique, qui donne toutes les solutions possibles au problème inverse (il y a rarement unicité de la solution) constitue le modèle géométrique inverse, il existe un certain nombre de méthode classique qui traite séparément chaque cas particulier et qui convient pour la plupart des robots industriels .Lorsque le modèle géométrique inverse n'existe pas, c'est- à-dire qu'il n'existe pas une forme explicite, on peut calculer une solution particulière du problème inverse par des procédures numérique, qui est une solution locale au sens où elle dépend des conditions initiales. Notons que de telles méthodes sont pénalisantes du point de vue du temps de calcul.

II. 8.1. Calcul du Modèle géométrique inverse

Le modèle géométrique direct d'un robot permet de calculer les coordonnées opérationnelles donnant la situation de l'organe terminal en fonction des articulaires. Le problème inverse consiste à calculer les situations données de l'organe terminal. Les solutions possibles (il y a rarement unicité de solution) constitue l'inverse



Figure(II.14) : Description schématique des articulations dans le plan OXZ

II. 8.1.1 Définition :

Le modèle géométrique inverse (MGI) d'un bras manipulateur permet d'obtenir la ou les configurations correspondant à une situation de l'OT donnée. Un MGI est donc tel que :

$$\begin{cases} f & : M \rightarrow N \\ & : q = f^{-1}(X) \end{cases}$$

m = dimension de l'espace articulaire, n=dimension de l'espace opérationnel

La résolubilité du MGI : l'existence d'un nombre fini de solutions est fondamentale en matière de conception.

Supposons que la situation X d'un bras manipulateur à « n » liaisons soit exprimée par un nombre « m » minimal de paramètres

Supposons par ailleurs que X soit une situation accessible par le bras manipulateur ,c'est-à-dire que la situation appartient à l'espace de travail. Alors (dans la majorité des cas) :

- si $n < m$, il n'existe pas de solution au MGI ;
- si $n = m$, il existe un nombre fini de solutions en dehors de certaines configurations, appelées configurations (situation) singulière;
- si $n > m$, il existe une infinité de solutions.

Sachant que dans les cas où $n < 6$ les bras manipulateurs sont tous solubles, il existe une solution connue au MGI. C'est aussi le cas de la plupart des structures à six liaisons, notamment celles possédant un *poignet sphérique* (trois dernières liaisons rotoïdes concourantes). Enfin, seul le calcul du MGI permet de connaître le nombre de solutions.

II. 8.1.2. Calcule du MGI du bras ROB3 :

Il n'existe pas de méthode analytique systématique pour calculer le MGI. Le mieux est de reprendre les équations du MGD, préalablement calculé et de mener le calcul à l'envers. Le calcul se fait alors au cas par cas. Il est généralement aisé pour un bras manipulateur à moins de six axes, comme les bras manipulateur de type ROB3le cas où $n = 5$, l'existence d'un poignet sphérique permet de débiter la résolution.

On résout ensuite le système d'équations non-linéaires que constitue le MGD, pour exprimer les q_i , pour $i = 1, 2, \dots, n$, en fonction de p_x, p_y, p_z et des cosinus directeurs .

Calcul de θ_1

$$\frac{\sin(\theta_1)}{\cos(\theta_1)} = \frac{y}{x}$$

$$\theta_1 = \arctg\left(\frac{y}{x}\right) = \text{atan2}(y, x)$$

Calcul de θ_2

$$a_2c_2 + a_3c_2^3 + r_5c_2^3 - p_x = 0$$

$$a_2s_2 + a_3s_2^3 + r_5s_2^3 - z = 0 \quad (z = p_z - l)$$

Posons : $\alpha = \theta_2 + \theta_3 + \theta_4, \beta = \theta_2 + \theta_3$; (α : l'orientation de l'OT)

$$a_2c_2 + a_3c_2^3 + r_5c_\alpha - p_x = 0$$

$$a_2 s_2 + a_3 s_2^3 + r_5 s_\alpha - z = 0$$

$$a_2 c_2 + a_3 c_2^3 = u_1; \quad u_1 = p_x - r_5 c_\alpha$$

$$a_2 s_2 + a_3 s_2^3 = u_2 \quad ; \quad u_2 = z - r_5 s_\alpha$$

Sachant que :

$$\cos(\theta_2 + \theta_3)^2 + \sin(\theta_2 + \theta_3)^2 = 1$$

$$(u_1 - a_2 c_2)^2 + (u_2 - a_2 s_2)^2 = a_3^2$$

On obtient:

$$u_1 c_2 + u_2 s_2 = \frac{a_2^2 - a_3^2 + u_1^2 + u_2^2}{2 * a_2}$$

Équation de type 2 de la forme : $X \cdot \sin \theta + Y \cdot \cos \theta = Z$, avec

$$X = u_2, \quad Y = u_1, \quad Z = \frac{a_2^2 - a_3^2 + u_1^2 + u_2^2}{2 * a_2}$$

Après calcul, on obtient :

$$\cos \theta_2 = \frac{YZ - \epsilon X \sqrt{X^2 + Y^2 - Z^2}}{X^2 + Y^2}; \quad \sin \theta_2 = \frac{XZ - \epsilon Y \sqrt{X^2 + Y^2 - Z^2}}{X^2 + Y^2}; \quad \text{Avec } \epsilon = \pm 1$$

Pour $\epsilon = +1$, on a : $\theta_{11} = \arctg(\sin \theta_2 / \cos \theta_2)$

Pour $\epsilon = -1$, on a : $\theta_{12} = \arctg(\sin \theta_2 / \cos \theta_2)$

$$\theta_2 = \max(\theta_{11}, \theta_{12})$$

Calcul de θ_3

$$a_2 c_2 + a_3 c_2^3 = u_1 \quad ; \quad \beta = \theta_2 + \theta_3$$

$$a_2 s_2 + a_3 s_2^3 = u_2$$

$$\cos \beta = (u_1 - a_2 \cos \theta_2) / a_3$$

$$\sin \beta = (u_2 - a_2 \sin \theta_2) / a_3$$

$$\beta = \arctg(\sin \beta / \cos \beta)$$

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

Calcul de θ_4

$$\theta_4 = \alpha - \beta = \alpha - \theta_2 - \theta_3$$

Conclusion :

Du fait de la non-linéarité du MGD, le MGI peut s'avérer complexe à calculer. Il n'existe pas d'algorithme universel permettant de résoudre toutes les structures de robot. Néanmoins, la quasi-totalité des robots industriels est résoluble. Pour les autres, on peut utiliser une méthode numérique.

Le MGI, par rapport aux méthodes numériques, a l'avantage de donner toutes les solutions possibles. Certaines sont d'emblée éliminées car elles ne satisfont pas les contraintes de butée articulaires. L'utilisateur a alors le choix des solutions restantes.

La suite traite la simulation et la programmation du robot rob3 en utilisant l'environnement Processing.

Chapitre 03 :

Modélisation Virtuelle

Introduction :

Dans le présent chapitre nous parlerons du principe de la modélisation virtuelle d'un bras manipulateur type ROB3, nous abordons ici la robotique du point de vue de la simulation des comportements et de l'animation.

La simulation est maintenant un outil puissant pour la conception, la planification, l'analyse et la prise de décision dans différents domaines de recherche et de développement. En particulier, elle est devenue un outil stratégique en robotique. Dans le domaine de la robotique, la simulation joue un rôle très important, peut-être plus important encore que dans beaucoup d'autres domaines.

Nous allons présenter quelques exemples typiques d'animation/simulation dans différents domaines de la robotique concernant la simulation du comportement des robots manipulateurs et les environnements intégrés pour la simulation dynamique des systèmes robotisés. Les outils avancés de simulation sont la base pour la conception des systèmes sophistiqués comme le sont les robots, pour l'utilisation des robots dans les environnements complexes et pour le développement de nouvelles stratégies et algorithmes de commande. Au paravent, la simulation n'était qu'un outil pour l'analyse d'un système robotisé et pour la planification de la tâche robotique. Maintenant c'est une plateforme ouverte pour développer/créer de nouveaux systèmes robotisés. Non seulement les outils modernes de simulation permettent de simuler et visualiser le monde réel d'une manière très plausible, mais aussi ils permettent d'aller au de-là de la réalité. En particulier, les chercheurs peuvent créer les environnements virtuels expérimentaux selon leur propre imagination, les robots et les technologies qui ne sont pas encore disponibles.

III. 1. Simulation des systèmes robotisés

Une grande quantité de logiciels de simulation est maintenant disponible pour des systèmes robotisés, et est déjà intensivement employée. Dans la plupart des cas, la simulation de robots est centrée sur les mouvements du robot manipulateur dans différents environnements. Comme la simulation de mouvement joue le rôle central dans tous les systèmes robotisés, on y tient compte de la cinématique ou des modèles dynamiques des robots manipulateurs. Le choix de type de modèle à employer dépend de l'objectif du système de simulation. Par exemple, les algorithmes de planification de trajectoire dépendent des modèles cinématiques. De même, la construction d'une cellule robotisée peut être simulée efficacement en employant seulement des modèles cinématiques des robots manipulateurs, sans considérer leur dynamique ou les modèles de commande. Par contre,

pour concevoir les actionneurs, les modèles dynamiques sont nécessaires. Les systèmes de commande modernes pour les robots manipulateurs utilisent différents modèles dynamiques internes pour améliorer l'exécution de la tâche robotique.

III. 2. Le rôle de la simulation/animation

La simulation comprend la conception d'un modèle d'un système physique réel ou théorique, l'étude expérimentale du modèle, et l'analyse des résultats obtenus à partir de ce modèle. En fait, la simulation est très utile pour appréhender la réalité dans toute sa complexité. Nous essayons de construire l'objet artificiel et de les animer dynamiquement. Le concept d'apprentissage est essentiel dans la simulation. En utilisant la simulation nous pouvons apporter des améliorations au modèle et tout en modifiant « la règle de fonctionnement » nous pouvons observer les résultats des modifications apportées. Comme nous vivons selon le principe « je ne crois que ce que je vois », la visualisation est un autre aspect important de la simulation.

La simulation est un champ fortement interdisciplinaire puisqu'elle est employée couramment dans tous les domaines de la recherche, de la recherche universitaire à la fabrication.

La possibilité de simuler un phénomène ouvre un éventail d'options pour résoudre beaucoup des problèmes de manière créative. Nous pouvons concevoir, visualiser et étudier un objet/système même s'il n'existe pas. Nous pouvons tester les performances d'un système qui n'est pas encore construit. Il est possible que nos solutions mènent à l'échec ou même provoquent la destruction de l'objet de la simulation, mais ce n'est que virtuellement. Ainsi, à l'aide des outils de simulation on peut éviter les collisions ou des modifications de la conception après le début de la production des pièces en constatant que le processus de fabrication contient des cycles de durée trop longue.

III. 3. Modélisation virtuelle [09]

A l'aide des plusieurs logiciels, la modélisation virtuelle sert à créer des scènes 3D, composées de formes complexes, ou objets, en trois dimensions à partir de primitives de bases ou de définition analytique. Les modeleurs 3D sont utilisés aussi bien dans l'industrie en conception assistée par ordinateur que par les infographistes qui réalisent des scènes dédiées aux jeux vidéo, à la réalisation d'animations pour le cinéma et à la création de présentations ou d'environnements de réalité .

III. 3.1 But de la Modélisation virtuelle :

Le but de la modélisation virtuelle est avoir plus de visibilité quand on met le plan en 3D, ainsi que la possibilité de refaire les calculs pour atteindre un résultat bien précis, d'autre part, gagner le temps et tester tous les cas particuliers.

Il existe également des méthodes supplémentaires qui affinent la modélisation.

III. 3.2 Choix de l'outil :

Notre outil de modélisation virtuelle c'est le logiciel Processing3 [www.processing.org].

Processing (autrefois typographié Proce55ing) est une bibliothèque java et un environnement de développement libre (sous licence GNU GPL), créé par Benjamin Fry et Casey Reas, deux artistes américains. Processing est le prolongement « multimédia » de 'Design by numbers', l'environnement de programmation graphique développé par John Maeda au 'Media-Lab' du Massachusetts Institute of Technology.

Processing est tout particulièrement adapté à la création plastique et graphique interactive. Le logiciel fonctionne sur Macintosh, Windows, Linux, BSD et Androïde. Il est basé sur la plateforme Java — il permet d'ailleurs de programmer directement en langage Java.

Il existe également une version en JavaScript de Processing, appelée Processing.js, cette version pouvant être exécuté dans un environnement HTML 5 ou via node.js. Une nouvelle version JavaScript est désormais proposée, Le projet est rattaché officiellement au site mère de Processing.

Les programmes réalisés avec Processing peuvent être lus par les navigateurs internet équipés du plug-in java, mais aussi sous forme d'applications indépendantes pour Windows, Linux ou Mac OS X (en réalité n'importe quelle machine disposant d'une Machine virtuelle Java).

Le principe majeur de Processing est la simplicité, dans la mise en œuvre des programmes comme dans la syntaxe du langage. Adapté à la création graphique, Processing réclame moins d'efforts que Java pour effectuer des tâches simples telles que la modification d'une animation à intervalle régulier (qui permet des créations animées). Ses fonctionnalités sont limitées aux besoins des créateurs d'images 2D et 3D générées par programmation mais peuvent être étendues, par le biais de

modules externes, à la capture d'un flux vidéo, à la génération et à la manipulation de son, à l'interfaçage des ports d'entrées-sorties, etc.

Processing s'adresse aux artistes en « arts numériques » et aux graphistes, notamment dans le domaine du graphisme d'information et dans celui du graphisme génératif. Il permet d'élaborer des sketches.

III. 3.2.1 Processing :[06]

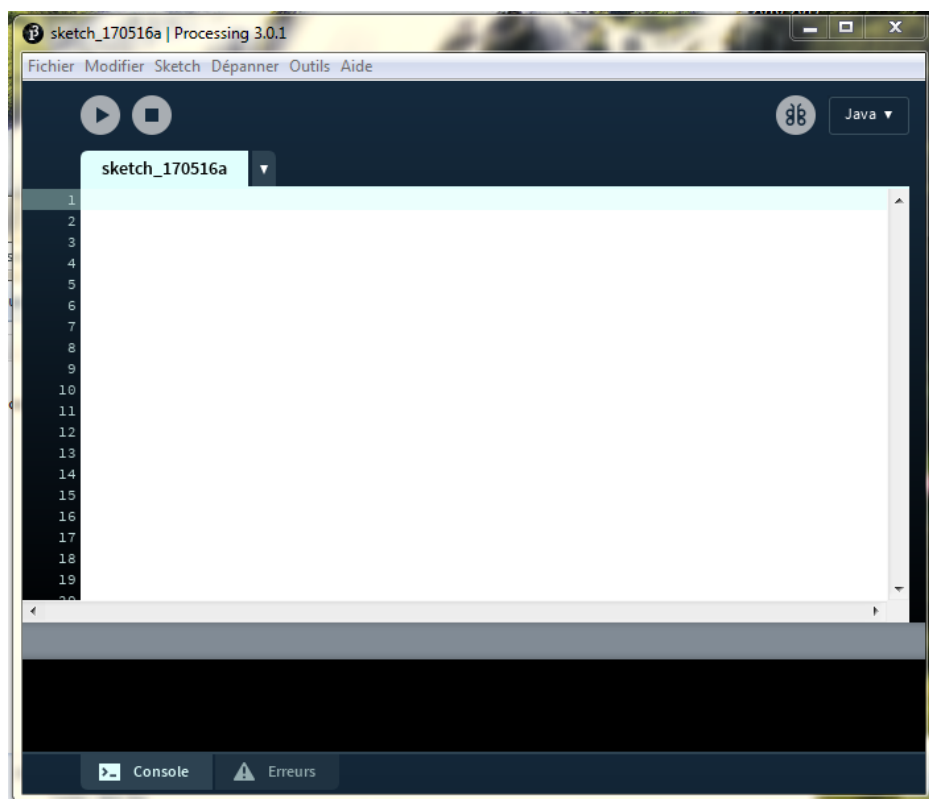
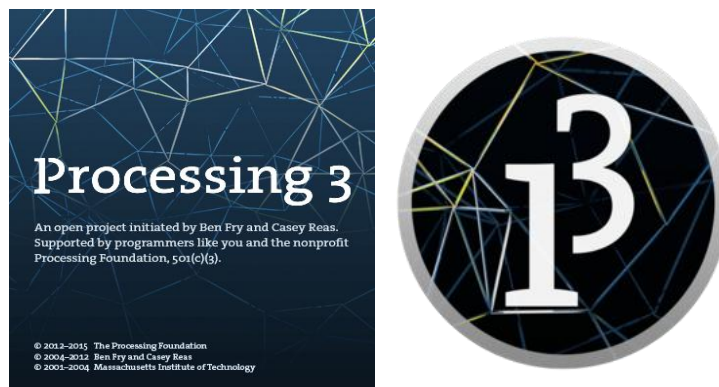


Figure (III.01) : Espace de travail Processing

III. 3.2.2 Avantages de Processing

- Gratuit pour télécharger et open source
- Programmes interactifs avec sortie 2D, 3D ou PDF
- Intégration Open GL (P3D) pour accélérer 2D et 3D
- Pour GNU / Linux, Mac OS X, Windows, Android et ARM, multiplateforme
- Plus de 100 bibliothèques étendent le logiciel de base
- Bien documenté , avec de nombreux livres disponibles.

III. 4. Méthodologie :

On dispose de plusieurs instructions pour la déclaration, dessin, déclaration de fonctions, ... etc.

Déclaration :

```
Float b ; déclaration de la variable réelle b  
int a ; déclaration de la variable entière a  
void draw() déclaration de la fonction draw (dessin)
```

-initialisation : void setup

-Dessin : void draw

-Fonction lié à la souris : void mouseDragged (glissement)

-Fonction liés au clavier : void keyPressed (touche)

Exemple:

```
void draw() {  
  background(155);  
  smooth();  
}
```

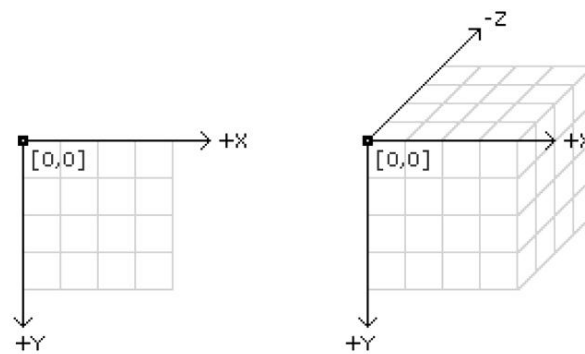


Figure (III.02) : Repère 3D de Processing

III. 5. Modélisation virtuelle du robot ROB3 :

III. 5.1. Construction du robot :

Pour construire un robot ROB3 en version virtuelle il faut d'abord mettre un plan sur papier avec les dimensions réelles, les butés, etc.

On commence par les composants suivants dans Processing :

1. Base : longueur \times hauteur \times largeur = 250 \times 85 \times 160
2. Epaule : 40 \times 210 \times 120
3. coude : 250 \times 50 \times 80
4. poignet : 150 \times 30 \times 60
5. Orientation: RotX, RotY, RotZ
6. Outil (pince) : 40x 20x 20, 20x 60x 20,70x 10x 20

En appliquant des instructions pour la construction des objets en 3D.

Exemple : construction de la base dans Processing :

```
void draw() {
  translate(width/w, height/h, 0); // translation vers le milieu de la fenêtre
  rotateY(rotY); //rotation autour de l'axe Y
  rotateX(rotX); //rotation autour de l'axe X
  scale(zoom); //effet de zoom
}
```

Finalement, on affiche le robot en 3D dans l'écran de Processing.

III. 5.2. L'animation du robot :

Pour animer le robot en utilisant la souris et le clavier :

Souris :

pour agir sur le robot complètement (effet de zoom avant et arrière, rotation sur différents axes x,y,z)

Clavier :

Pour agir sur les articulations du robot :

□

Articulation rotoïde liée la base: theta1 :	<input type="text" value="a"/>	<input type="text" value="z"/>
Articulation rotoïde liée au epau de: theta2 :	<input type="text" value="q"/>	<input type="text" value="s"/>
Articulation rotoïde liée au coude: theta3 :	<input type="text" value="w"/>	<input type="text" value="x"/>
Articulation rotoïde liée au poignet: theta4 :	<input type="text" value="e"/>	<input type="text" value="r"/>
Articulation rotoïde liée au pince : theta5 :	<input type="text" value="l"/>	<input type="text" value="m"/>
Effet de rotation :	<input type="text" value="t"/>	
Ouverture pince :	<input type="text" value="o"/>	
Fermeture de la pince :	<input type="text" value="f"/>	
Capturer un objet cible (pick) :	<input type="text" value="c"/>	
Effet de Zoom :	<input type="text" value="u"/>	<input type="text" value="d"/>
L'état initial du robot :	<input type="text" value="p"/>	
Le robot est bouger	<input type="text" value="j"/>	

Le code source suivant pour la commande de mouvement de robot

```
void keyPressed() {
if (key=='u') {
zoom+=0.05;
} else if (key=='d') {
zoom-=0.05;
} else if (key=='t') {
rotY-=0.1;
} else if (key=='a') {
theta1+=0.025;
if (theta1>4*PI/9) theta1=4*PI/9;
} else if (key=='z') {
theta1-=0.025;
if (theta1<-4*PI/9) theta1=-4*PI/9;
} else if (key=='q') {
theta2+=0.025;
if (theta2>7*PI/18) theta2=7*PI/18;
} else if (key=='s') {
theta2-=0.025;
if (theta2<-PI/6) theta2=-PI/6;
} else if (key=='w') {
theta3+=0.025;
if (theta3>0*PI) theta3=0*PI;
} else if (key=='x') {
theta3-=0.025;
if (theta3<-5*PI/9) theta3=-5*PI/9;
} else if (key=='e') {
theta4+=0.025;
if (theta4>5*PI/9) theta4=5*PI/9;
} else if (key=='r') {
theta4-=0.025;
if (theta4<-5*PI/9) theta4=-5*PI/9;
} else if (key=='l') {
```

```
theta5+=0.05;
if (theta5>5*PI/9) theta5=5*PI/9;
  } else if (key=='m') {
theta5-=0.05;
if (theta5<-5*PI/9) theta5=-5*PI/9;
  } else if (key=='p') {
  theta1=theta2=theta3=theta4=theta5=0;
rotY=0;
  w=2;h=1.5;
zoom=1;
  } else if(key=='f'){
close = !close;
  } else if(key=='o'){
open = !open;
  } else if(key=='c'){
pick = !pick;
  }
else if(key=='j'){
trj = !trj;
  }
else if(key=='h'){
alpha += 0.05; mgi(); if (t3<-100*PI/180 || t3>0 ) {alert="Situation Singulière";} else
{alert="Situation Accessible";}
  } else if(key=='H'){
alpha -= 0.05 ;mgi(); if (t3<-100*PI/180 || t3>0 ) {alert="Situation Singulière";} else
{alert="Situation Accessible";}
  }
else
if (key==CODED){
if(keyCode==UP){z+=5.0; mgi();
}
else if(keyCode==DOWN){z-=5.0;mgi(); }
```

```

else if(keyCode==RIGHT){x+=5;mgi(); if (t3<-100*PI/180 || t3>0 ) {alert="Situation Singulière";}
else {alert="Situation Accessible";} }
else if(keyCode==LEFT){x-=5;mgi(); if (t3<-100*PI/180 || t3>0 ) {alert="Situation Singulière";}
else {alert="Situation Accessible";} }
else if(keyCode==ALT){y-=5;mgi();}
else if(keyCode==CONTROL){y+=5;mgi();}
}
}
void mgi(){
theta1=t1;
theta2=t2;
theta3=t3;
theta4=t4;
}

```

III. 6. Affichage instantané des résultats de calcul du MGD et MGI :

L’Affichage instantané de theta1, theta2, theta3,theta4, theta5,se fait sur l’écran à chaque mouvement d’une articulation du robot, les valeurs affichées représentent la mise à jour de la configuration géométrique du robot.

Cordonnées opérationnelles Px, Py, Pz : représentent la mise à jour de la configuration opérationnelle du robot (position de l’OT).

La portion du code source suivante détaille l’affichage instantané:

```

void drawCylinder( int sides, float r, float h)
{
float angle = 360 / sides;
floathalfHeight = h / 2;
// draw top of the tube
BeginShape();
for (int i = 0; i < sides; i++) {
float x = cos( radians( i * angle ) ) * r;
float y = sin( radians( i * angle ) ) * r;
vertex( x, y, -halfHeight);
}
endShape (CLOSE);
// draw bottom of the tube

```

```
beginShape();
for (int i = 0; i < sides; i++) {
float x = cos( radians( i * angle ) ) * r;
float y = sin( radians( i * angle ) ) * r;
vertex( x, y, halfHeight);
}
endShape(CLOSE);
// draw sides
beginShape(TRIANGLE_STRIP);
for (int i = 0; i < sides + 1; i++) {
float x = cos( radians( i * angle ) ) * r;
float y = sin( radians( i * angle ) ) * r;
vertex( x, y, halfHeight);
vertex( x, y, -halfHeight);
}
endShape(CLOSE);
}
voiddrawCone( int sides, float r1, float r2, float h)
{
float angle = 360 / sides;
floathalfHeight = h / 2;
// draw top of the tube
beginShape();
for (int i = 0; i < sides; i++) {
float x = cos( radians( i * angle ) ) * r1;
float y = sin( radians( i * angle ) ) * r1;
vertex( x, y, -halfHeight);
}
endShape(CLOSE);
// draw bottom of the tube
beginShape();
for (int i = 0; i < sides; i++) {
float x = cos( radians( i * angle ) ) * r2;
float y = sin( radians( i * angle ) ) * r2;
vertex( x, y, halfHeight);
}
endShape(CLOSE);
```

```
// draw sides
beginShape (TRIANGLE_STRIP);
for (int i = 0; i < sides + 1; i++) {
float x1 = cos( radians( i * angle ) ) * r1;
float y1 = sin( radians( i * angle ) ) * r1;
float x2 = cos( radians( i * angle ) ) * r2;
float y2 = sin( radians( i * angle ) ) * r2;
vertex( x1, y1, -halfHeight);
vertex( x2, y2, halfHeight);
}
endShape (CLOSE);
}
```

III. 7-Résultat et Tests :

Modèle géométrique direct :

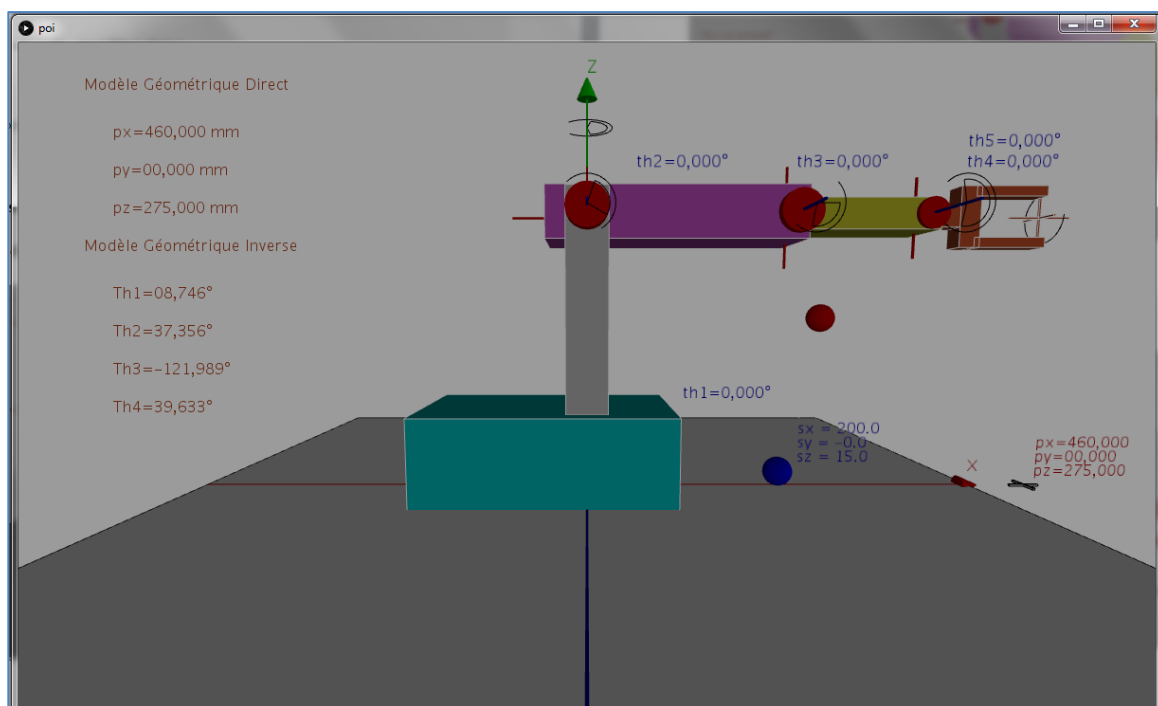


Figure (III.03): Résultat de simulation n01

Modèle géométrique inverse :

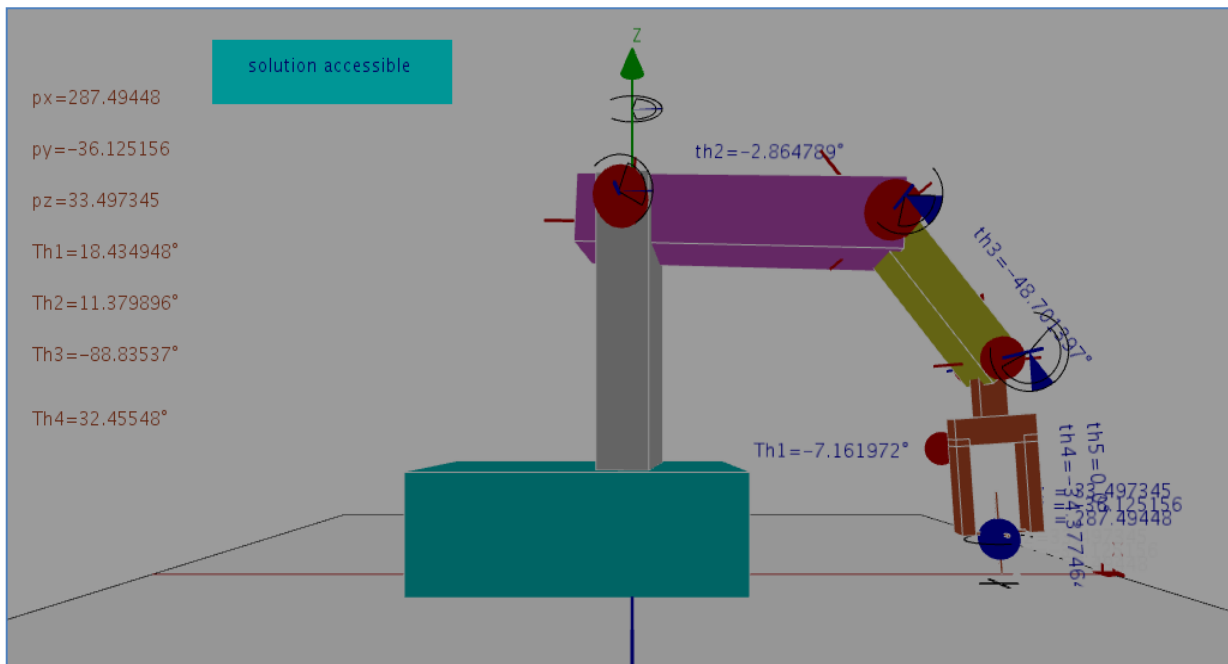


Figure (III.04) : Résultat de simulation n02

Programmation du mouvement du robot :

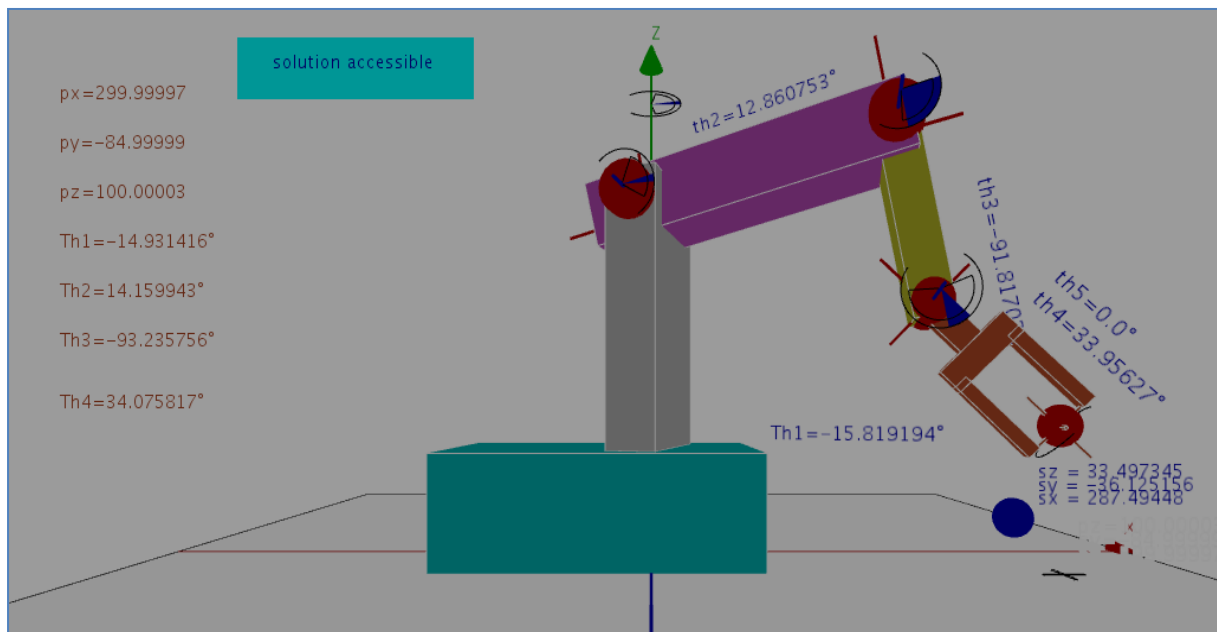


Figure (III.05): résultat de simulation n03

Il s'agit de programmer le mouvement de l'OT du robot ROB3 pour effectuer une séquence selon une trajectoire en 3D définie en fonction de coordonnées opérationnelles x,y,z.

Tableau (III.01) : Résultats obtenus lors du test du MGD.

Theta1	Theta2	Theta3	Theta4	Px (mm)	Py (mm)	Pz (mm)
0	0	0	0	460	0	275
14.324°	11.459°	-18.621°	-15.756°	430.911	110.030	247.902
-45.837°	0.000	-41.539°	-30.080°	235.694	-242.679	65.424

Tableau (III.02) : Résultats obtenus lors du test du MGI.

x (mm)	y (mm)	z (mm)	Alpha	Theta1(°)	Theta2(°)	Theta3(°)	Theta4(°)
350	40	200	-Pi/4	06.520	33.861	-77.376	-01.485
320	00	105	-pi/4	00.895	13.723	-88.642	29.919

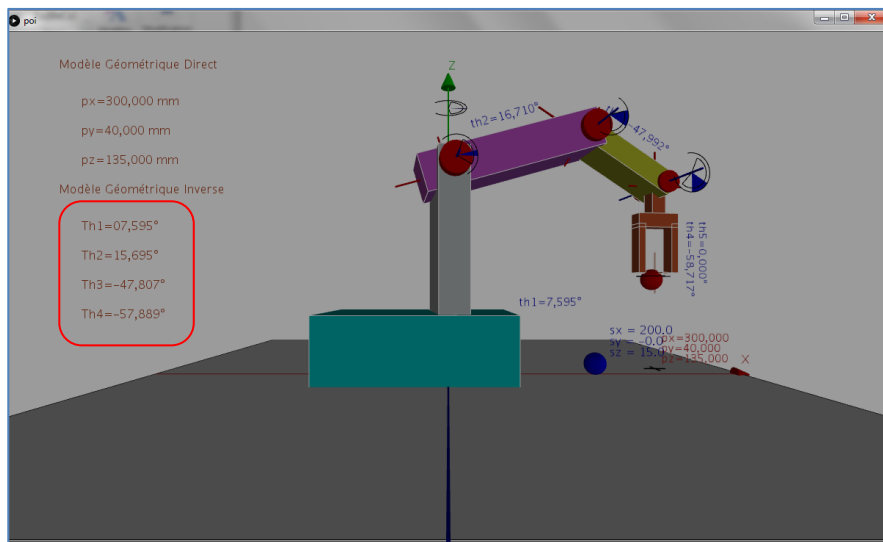


Figure (III.05) : Résultat de simulation n03

300	40	135	-Pi/2	07.595	15.695	-47.807	-57.889
-----	----	-----	-------	--------	--------	---------	---------

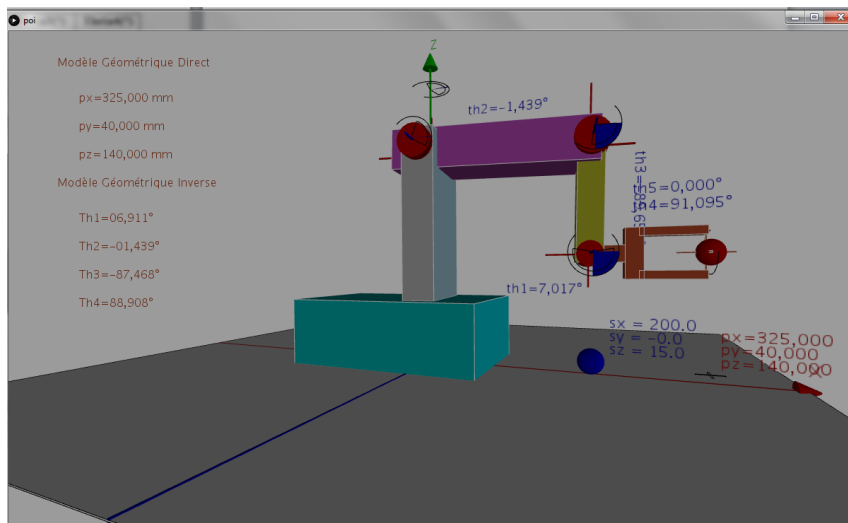


Figure (III.06) : Résultat de simulation n04

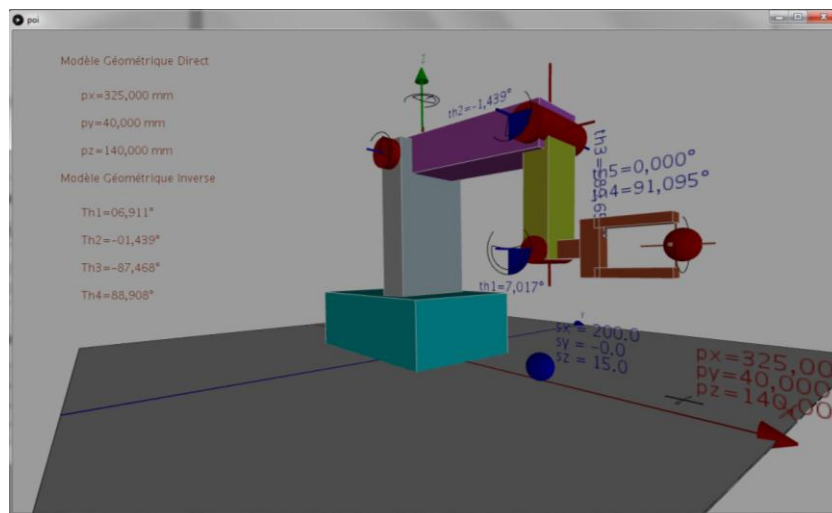


Figure (III.07) : Résultat de simulation n05

325	40	140	0	06.911	-01.439	-87.468	88.908
-----	----	-----	---	--------	---------	---------	--------

Conversion degré/radian

	t1	t2	t3	t4	t5
Radian	-1.3968634	-0.52359878	-1.74532925	-1.74532925	0
Degré	-80	-30	-100	-100	0

Programmation d'une trajectoire :

Le fragment du code source nous permet de programmer le mouvement de l'OT suivant une trajectoire en fonction des coordonnées opérationnelles x,y,z.


```
if(trj){
t++; // temps
x-=dx;    if (x<250) { dx=-dx;} else if (x>350) { dx=-dx;} // balayage X
y-=dy;if (y<-200) { dy=-dy;} else if (y>200) { dy=-dy;} // balayage Y
z=50*cos(5*t*PI/180)+100; // mouvement sinusoïdale suivant l'axe z
mgi(); // appel de la fonction mgi() pour la maj du robot dans l'espace
        //articulaire
}
```

Conclusion

Dans ce dernier chapitre, nous avons présenté les résultats de la modélisation géométrique directe et inverse et la modélisation virtuelle du robot ROB3.

Ensuite Nous avons illustré les résultats de la simulation, les interfaces 3D de la simulation et quelques résultats numériques de la simulation des différents modèles géométrique direct et inverse.

Conclusion Générale

Conclusion Générale :

Le but de ce travail est d'étudier les robots manipulateurs industriels, en vue de leur commande et programmation. La modélisation des robots industriels est une étape primordiale et plus spécifiquement la modélisation géométrique. Notre étude est portée sur le robot manipulateur type ROB3.

Tout d'abord, nous avons fait une étude générale sur les robots et ensuite la description et la modélisation géométrique directe et inverse de robot ROB3.

La modélisation géométrique directe basée sur les paramètres de Denavit-Hartenberg, nous a permis de déterminer la position opérationnelle (cartésienne) de l'organe terminal.

La modélisation géométrique inverse a permis de déterminer les angles des articulations (configuration articulaire).

Nous avons utilisé l'outil Processing 3D, pour implémenter la modélisation géométrique du robot, le rendu 3D apporte plus de visibilité des résultats, le clavier est utilisé pour manipuler le robot dans l'espace articulaire ainsi que dans l'espace opérationnel, une trajectoire de l'OT est programmée en fonction du temps suivant une forme sinusoïdale selon l'axe z.

Finalement, ce travail nous a permis d'apprendre en cours de route une partie du langage « java », au sein de l'environnement Processing.

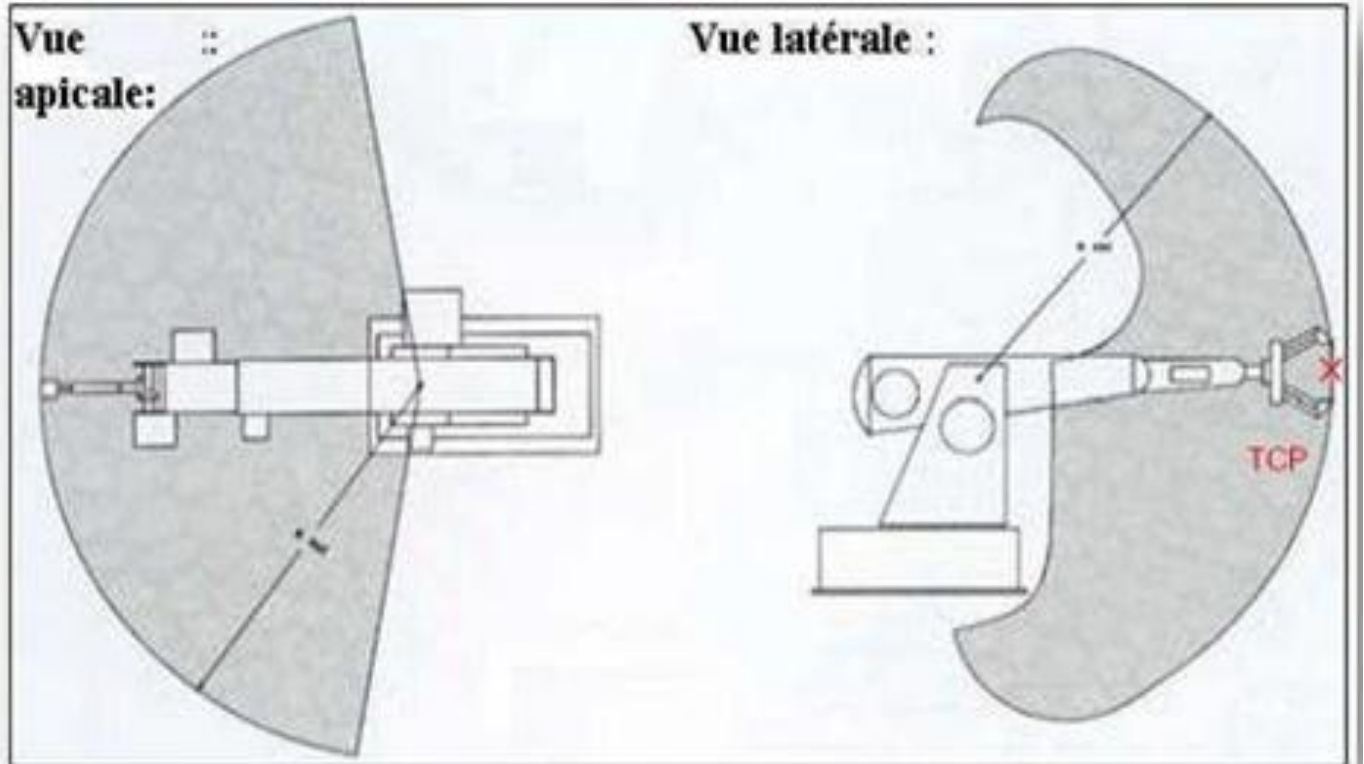
Référence et Bibliographie

Référence et Bibliographies

- [01] : Guillaume. L , Nicolas .C, «Robotique industrielle »,Université de Bourgogne Franche-Comté – UFC – ENSMM. 2014
- [02] : SAADI .R, SALHI .N, «Réalisation de carte à microcontrôleur pour le contrôle de bras manipulateur via un pc. », Mémoire master informatique **et instrumentation**, Université Mohamed khider biskra ,2010.
- [03] : Wissama khalil, Etienne Dombre, « Bases de la modélisation et de la commande des robots-manipulateurs de type série cours robotique », Fondation UNIT, 08-05-2012.
- [04] :S.BORSALI, « Modélisation des Robots », Université ABOU–BECR BELKAID-TLEMCEN ,2013.
- [05] :Konate.M, « ETUDE ,CONCEPTION ET IMPLANTATION DE LA COMMANDE D’UN BRAS DE ROBOT ROB3 », master informatique industrielle, Université Ibn Khaldoun de Tiaret, 2015.
- [06] :<https://processing.org/>(consulté le 05/03/2016)
- [07]: Islam .A, « DEVELOPEMENT D’UN ROBOT JOUEUR D’ECHECS »,rapport de projet, ACADEMIE MILITAIRE DE TUNISIE, Promotion Habib Thamer.
- [08]: KASML.H., *BRIK.Y.*, « MODELISATION GEOMITRIQUE D’UN BRAS MANIPULATEUR DE TYPE SCARA », Mémoire master informatique industrielle, Université Ibn Khaldoun de Tiaret, 2016.
- [09] : <http://rvirtual.free.fr/modelisations/modelisa.htm>(consulté le 12/11/2016)

Annexes

Annexe :



المخلص :

العمل المقدم في هذه المذكرة يهتم بدراسة ذراع آلية من نوع روب 3 والنمذجة الهندسية المباشرة والعكسية وتطوير نموذج افتراضي ثلاثي الأبعاد التي تطبق على حد سواء, النماذج الهندسية المباشرة والعكسية لمحاكاة مهمة روبوتية باستعمال إعدادات ديناميت , ويخصص هذا الجزء الأخير تطبيق النمذجة الهندسية في حالة وجود روبو روب 3 مع أمثلة تبين النتائج النهائية ,وكذلك يخصص هذا الجزء أداة تقنية معالجة التي يتم استخدامها لتنفيذ النماذج اللازمة لمحاكاة التحكم في الروبوت باستعمال النموذج الظاهري.

Résumé :

Les travaux présentés dans ce mémoire, s'intéressent à la modélisation d'un robot rob3,sa modélisation géométrique directe et inverse ainsi que le développement d'un modèle virtuel en 3D qui implémente les deux modèles géométriques MGD et MGI, en exploitant les paramètres de Denavit-Hartenberg.

La dernière partie est consacrée à une application de la modélisation géométrique dans le cas d'un robot ROB3avec quelque exemples et mettre en fin les résultats obtenus. La partie présente l'outil informatique « Processing » qui permet d'implémenter les modèles nécessaires pour simuler la commande du robot en modèle virtuel La partie présente l'outil informatique « Processing » qui permet d'implémenter les modèles nécessaires pour simuler la commande du robot en modèle virtuel.