

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Université de Biskra

Faculté des Sciences et de la Technologie

Département de Génie Mécanique

Filière : Génie Mécanique

Option: Conception Mécanique et Productique

Réf:.....

Mémoire de Fin d'Etudes

En vue de l'obtention du diplôme de:

MASTER

Thème

**Analyse des structures et méthodes
de calcul de la portée d'un robot**

Présenté par:

Djoudi Achraf

Proposé et dirigé par:

Dr. Nine Brahim

Promotion : Juin 2017

Remerciements



*Tout d'abord, louange à **Dieu**, mon créateur de m'avoir offert toutes les capacités pour accomplir ce travail.*

Je remercie mes parents et mes frères pour leur encouragement et leur confiance en moi.

Et je tiens à remercier particulièrement ma sœur aînée pour son assistance.

*Je remercie **Dr. Nine Brahim** pour son assistance et sa patience durant cette période.*

Je tiens à exprimer mes sincères remerciements aux membres du jury d'avoir accepté ce travail.

A tous mes enseignants de Génie mécanique qui n'ont épargné aucun effort pour ma réussite.

Enfin un amical remerciement à tous mes amis à leur soutien.

Merci à tous du fonds du cœur.





DEDICACE

Je dédie ce travail A ma mère pour toute sa patience et sa persévérance durant cette période difficile.

A mon père pour son soutien moral et financier.

A ma sœur Amel et Chérifa.

A mon cher frère Chaker pour son soutien permanent et c'est grâce à lui j'arrive à terminer ce travail.

A toute la famille.

A mes collègues de l'université.

A mes enseignants.

A tous mes amis.

Liste des figures chapitre I

<i>Figures</i>	<i>Titre</i>	<i>page</i>
FIG.I.1	Manipulateur maître esclave.	3
FIG.I.2	Robot Unimate.	4
FIG.I.3	Robot Puma.	4
FIG.I.4	Robot Shakey.	4
FIG.I.5	Robot Hilare.	4
FIG.I.6	Robot Sojourner.	5
FIG.I.7	robocup.	5
FIG.I.8	Robot aiibo.	5
FIG.I.9	Robot Spirit.	6
FIG.I.10	Robot Curiosity.	6
FIG.I.11	robot Nao.	6
FIG.I.12	Architecture d'un robot.	7
FIG.I.13	Structure fonctionnelle d'un robot.	7
FIG.I.14	Représentation du volume de travail.	9
FIG.I.15	Structure PPP.	9
FIG.I.16	Structure RPP (ou PRP).	10
FIG.I.17	Structure RPR.	10
FIG.I.18	Structure RRP.	10
FIG.I.19	Structure RRR.	10
FIG.I.20	robots SCARA.	13
FIG.I.21	Robot Seiko.	14

FIG.I.22	Robot fanuc.	14
FIG.I.23	Robot Toshiba.	15
FIG.I.24	Robot COMAU.	15
FIG.I.25	Robot Kawasaki.	16
FIG.I.26	Un robot industriel Kawasaki FS-03N, robot de soudage.	17
FIG.I.27	Structure générale d'un robot industriel.	19
FIG.I.28	Robot Unimate.	20
FIG.I.29	Robot de soudage.	20
FIG.I.30	Robot de soudage.	20
FIG.I.31	Robot PUMA.	21
FIG.I.32	AdeptOne par Adept.	21
FIG.I.33	Robot ABB.	22
FIG.I.34	Robots industriels de Soudage.	23
FIG.I.35	Robots industriels de Peinture.	24
FIG.I.36	Robots industriels d'Assemblage.	25
FIG.I.37	Robots industriels d'Emballage et palettisation.	26
FIG.I.38	Robots industriels de perceuse.	26
FIG.I.39	domaine d'application Robots industriels de perceuse.	27
FIG.I.40	Robots dans les Biotechnologies.	27
FIG.I.41	Robots de Service aux Equipements.	28
FIG.I.42	Le Remote Manipulator du Space Shuttle.	30
FIG.I.43	ROBOPED pour la rééducation orthopédique.	31
FIG.I.44	Système de télé-chirurgie Zeus de Computer Motion.	31
FIG.I.45	robots démineurs.	32

FIG.I.46	robots démineurs.	33
FIG.I.47	Les drones.	33

Liste des figures chapitre II

FIG II.1	Position du point P dans le repère final.	36
FIG II.2	Le positionnement du point X.	37
FIG II.3	vectorielle statique.	38
FIG II.4	Position d'un point du repère lié à l'organe terminal.	39
FIG II.5	Translation et rotation d'un point P.	40
FIG II.6	Cas d'une simple translation.	41
FIG II.7	Cas particulier d'une rotation autour d'un axe.	42
FIG II.8	la transformation permettant de passer du repère R_1 au repère R_0.	44
FIG II.9	Cas de transformations homogènes.	45
FIG II.10	rotation simple d'un angle θ autour de l'axe x_0.	46
FIG II.11	transformation homogène.	47
FIG II.12	Rotations successives dans le paramétrage par les angles d'Euler.	48
FIG II.13	Rotations successives dans le paramétrage par les angles de roulis, tangages et lacet.	49
FIG II. 14	Robot à structure ouverte simple.	50
FIG II.15	Paramètres géométriques dans le cas d'une structure ouverte simple.	51

Liste des figures chapitre III

FIG III.1	Robot TX90 Stäubli.	54
FIG III.2	Robot articulé 6 axes pour temps de cycle rapide manutention au sol TX340 SH.	55
FIG III.3	Robot articulé 6 axes de Palettisation TX200.	55
FIG III.4	Le robot 6 axes TX2-40.	56
FIG III.5	Robot 6 axes RX160.	56
FIG III.6	Tableau comparaison entre Robot TX90 et Robot TX90L	57
FIG III.7	Volume de travail robot TX90	58
FIG III.8	Volume de travail robot TX90.	58
FIG III.9	Vitesse maximale robot TX90.	59
FIG III.10	Robot TA 1600 Panasonic.	60
FIG III. 11	Robot de Solda TM1800 Panasonic.	61
FIG III. 12	Parallel robot delta 6-axis soldering.	61
FIG III. 13	Sous-ensembles principaux du bras manipulateur TA 1600 [20] 1) Poignet à arbre creux; 2) Bras; 3) Installation électrique; 4) Embase; 5) Bâti de rotation; 6) Epaule.	62
FIG III.14	Sens de rotation des axes.	63
FIG III.15	Robot TX90.	64
FIG III.16	Dimensions géométriques du robot TX90.	65
FIG III.17	Dimensions géométriques et volume de travail du robot TA1600.	66
FIG III.18	logiciel RobotDk.	66

Liste des figures chapitre IV

FIG IV.1	Robot TX90 STAUBLI.	68
FIG IV.2	Dimensions géométriques du robot TX90.	69
FIG IV.3	articulations avec les nouveaux paramètres θ_n avec RobotTX90.	74
FIG IV.4	articulations avec les nouveaux paramètres θ_m avec RobotTX90.	75
FIG IV.5	articulations avec les nouveaux paramètres θ_r avec RobotTX90.	76
FIG IV.6	articulations avec les nouveaux paramètres θ_s avec RobotTX90.	77
FIG IV.7	Robot TA-1600.	78

Sommaire

CHAPITRE I : Généralités sur la robotique

	page
Introduction générale.....	01
I. Introduction.....	02
I.1. Définitions.....	02
I.1.1 Définition de la robotique.....	02
I.1.2 définition du robot.....	02
I.1.3 Robot Institute of America.....	02
I.1.4 Association Japonaise de Robotique Industrielle.....	02
I.1.5 L'association Française de Robotique Industrielle (AFRI).....	02
I.1.6 International Standard Organization (ISO).....	03
I.2 Historique.....	03
I.2.1 Avant 1950.....	03
I.2.3 Premiers robots mobiles.....	04
I.2.2 Robotique industrielle.....	04
I.2.4 Essor de la robotique mobile.....	05
I.2.5 Exploration.....	06
I.2.6 Democratisation des robots.....	06
I.3 Constituants d'un robot.....	07
I.4 Les éléments constitutifs d'un robot.....	07
I.4.1 Unité informationnelle.....	08
I.4.2 Unité opérationnelle.....	08
I.5. Performances des robots.....	08
I.5.1 Les performances-tâches.....	08
I.5.1.1 Le volume atteignable (volume de travail).....	09
I.5.1.2 Charge utile.....	11
I.5.1.3 Précision / Répétabilité.....	11
I.5.1.4 La vitesse.....	11
I.5.1.5 L'orientation possible de l'organe terminal.....	11
I.5.1.6 La fiabilité.....	12
I.5.2 Les performances-homme.....	12
I.5.3 Les performances économiques.....	12
I.6 Les différents types de robots.....	13
I.6.1 Les robots SCARA.....	13
I.6.2 Les robots cylindriques.....	14
I.6.3 Les robots sphériques.....	14
I.6.4 Les robots Cartésiens.....	15
I.6.5 Les robots parallèles.....	15
I.6.6 Les robots anthropomorphe.....	16
I.7 type et classification des robots.....	16
I.7.1 Par type.....	16
I.7.1.1 Les manipulateurs.....	16

I.7.1.2 Les télémanipulateurs.....	16
I.7.1.3 Les robots.....	16
I.7.1.3.1 Les robots manipulateurs industriels.....	17
I.7.1.3.2 Les robots didactiques.....	17
I.7.1.3.3 Les robots mobiles autonomes.....	17
I.7.2 Par génération.....	17
I.7.2.1 Le robot passif.....	17
I.7.2.2 Le robot actif.....	17
I.7.2.3 Le robot intelligent.....	18
I.8 Caractéristiques d'un robot.....	18
I.9 Les robots manipulateurs industriels.....	19
I.9.1 Définition.....	19
I.9.2 Historique robot industriel.....	20
I.9.3 Classification.....	22
I.9.3.1 Robots industriels de Soudage.....	22
I.9.3.2 Robots industriels de Peinture.....	23
I.9.3.3 Robots industriels d'Assemblage.....	25
I.9.3.4 Robots industriels de Emballage et palettisation.....	26
I.9.3.5 robot industriel d'usinage.....	26
I.9.3.6 Robots dans les Biotechnologies.....	27
I.10 Les robots de service.....	28
I.10.1 Exemples d'applications robotique de service.....	28
I.10.1.1 Agriculture.....	28
I.10.2- Robots d'exploration spatiale.....	30
I.10.3 La robotique médicale.....	30
I.10.4 les robots militaires.....	32
I.10.4.1 Les premiers robots militaires.....	32
I.10.4.2 Les robots démineurs.....	32
I.10.4.3 Les drones.....	33
I.11 Conclusion.....	34

CHAPITRE II : Méthodes de calcul de la géométrie d'un Robot

II.1 Introduction.....	35
II.2 Représentation des transformations rigides.....	35
II.2.1 Notations et définitions.....	35
II.2.2 Points.....	35
II.2.3 Solides.....	35
II.2.4 Transformations rigides.....	36
II.3 Modèle géométrique d'un robot en chaîne simple.....	36
II.3.1 Nécessité d'un modèle.....	36
II.3.2 Coordonnées opérationnelles.....	38
II.3.3 Construction des cosinus directeurs.....	40
II.4 Translation et rotation.....	40
II.5 Matrice de transformation homogène.....	43
II.6 Obtention du modèle géométrique direct.....	47

II.7 Angles d'Euler classiques.....	48
II.8 Angles roulis, tangage et lacet.....	49

CHAPITRE III : Présentation des types de Robot et du logiciel RoboDK

III.1 Introduction.....	54
III.2 Présentation du robot TX 90.....	54
III.2.1 Stäubli International AG.....	55
III.2.1.1 Une partie de ce que fabriquer Stäubli International	55
III.2.2 Caractéristiques robot TX 90.....	56
III.2.3 Tout les Avantages robot TX 90.....	57
III.2.4 Principales caractéristiques.....	57
III.2.5 Volume de travail robot TX90.....	58
III.2.6 Vitesse maximale de chaque axe robot TX90.....	59
III.3 Présentation du robot TA 1600 Panasonic.....	59
III.3.1 Panasonic International.....	60
III.3.1.1 Une partie de ce que fabriquer Panasonic International.....	61
III.3.2 Tous les avantages robot TA1600.....	61
III.3.3 Description du robot.....	62
III.3.3.1 Poignet à arbre creux.....	62
III.3.3.2 Bras.....	62
III.3.3.3 Epaule.....	63
III.3.3.4 Bâti de rotation.....	63
III.3.3.5 Embase.....	63
III.3.3.6 Installation électrique.....	63
III.3.4 Caractéristiques des axes.....	63
III.3.5 Caractéristiques techniques.....	64
III.4 modèle géométrique robot TX90.....	64
III.5 Caractéristiques géométriques robot TX90.....	65
III.6 Caractéristiques géométriques robot TA1600.....	66
III.7 Présentation du logiciel robotDK.....	66
III.8 Conclusion.....	67

CHAPITRE IV : Application de la méthode DH et simulation avec Robot TX90 et Robot TA1600

IV.1 Introduction.....	68
IV.2 Paramètre géométrique du robot TX90 parallèle 6 ddl porte sonde échographie.....	68
IV.3 Transformations homogènes du modèle géométrique direct « MGD ».....	69
IV.4 Application numérique de la méthode de DH.....	70
IV.5 Modèle géométrique directe (MGD).....	73
IV.6 Simulation avec logiciel RoboDK.....	73
IV.6.1 Premier mouvement.....	73

IV.6.2 Deuxième mouvement.....	74
IV.6.3 Troisième mouvement.....	75
IV.6.4 Quatrième mouvement.....	76
IV.7 Simulation avec robot TA1600.....	78
IV.8 programme de simulation robot TA1600.....	78
III.9 Conclusion.....	80
Conclusion générale.....	81

The text is framed by two large, light green, stylized brackets on the left and right sides, which are open at the top and bottom.

INTRODUCTION GENERALE

Introduction générale

Dans ce travail on s'intéresse à l'étude de la robotique. En fait, il s'agit d'un domaine multidisciplinaire on y trouve des aspects concernant la mécanique, l'informatique, l'électronique.

Programmer un robot consiste à lui spécifier la séquence des mouvements qu'il devra réaliser.

Le robot, par contre, peut en fonction de son programme réaliser des tâches différentes. Par exemple : un robot soude une carrosserie de voiture, plus tard on l'utilise pour traiter des voitures à l'antirouille.

En premier temps on fait l'analyse de la structure du robot pour qu'on puisse définir les paramètres du robot ainsi que sa fonction et de définir son espace de travail.

Notre recherche doit se baser sur le choix de la méthode la plus efficace qui est actuellement la plus sollicitée dans le domaine du calcul théorique de la position de l'outil afin de définir l'espace de travail

Le calcul des différentes positions se fait par la méthode de **Denavit-Hartenberg** on utilisant les matrices et les paramètres DH.



CHAPITRE I

Généralités sur la robotique

I. Introduction

Dans ce premier chapitre nous commençons par quelques définitions de base pour faciliter la lecture de mémoire. Ensuite nous présentons les constituants technologique d'un robot ainsi que la classification des robots et en terminera ce chapitre par la présentation des différentes caractéristiques qu'on trouve dans la littérature.

I.1. Définitions

I.1.1 Définition de la robotique

La robotique peut être définie comme l'ensemble des techniques et études tendant à concevoir des systèmes mécaniques, informatiques ou mixtes, capables de se substituer à l'homme dans ses fonctions motrices, sensorielles et intellectuelles [1].

I.1.2 Définition du robot

Le Petit Larousse définit un robot comme étant un appareil automatique capable de manipuler des objets, ou d'exécuter des opérations selon un programme fixe ou modifiable [1].

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

I.1.3 Robot Institute of America

Un robot est un manipulateur reprogrammable à fonctions 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 très diverses [2].

I.1.4 Association Japonaise de Robotique Industrielle

Tout mécanisme permettant d'effectuer, en tout ou en partie, une tâche normalement réalisée par l'homme [2].

I.1.5 L'association Française de Robotique Industrielle (AFRI)

un robot comme étant un système mécanique de type manipulateur commandé en position reprogrammable, polyvalent à usages multiples, 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 tâches. Il a souvent l'apparence d'un, ou plusieurs bras se terminant par un poignet. Son unité de commande utilise, notamment, un dispositif de mémoire et éventuellement de perception et d'adaptation à l'environnement et aux circonstances. Ces machines polyvalentes sont généralement étudiées pour [2].

I.1.6 International Standard Organization (ISO)

Une machine formée par un mécanisme incluant plusieurs degrés de libertés, ayant souvent l'apparence d'un ou plusieurs bras se terminant par un poignet capable de tenir des outils, des pièces ou un dispositif d'inspection [3].

I.2 Historique

I.2.1 Avant 1950

❖ XVIII^{ème} siècle

Création d'automates. En 1738, Jacques Vaucanson Cree un canard articulé en cuivre capable de boire, manger [4].

1921 : Karel Capek, RUR (Rossums Universal Robots).

1940 : Isaac Asimov écrit un ensemble de nouvelles sur les robots. Trois lois de la robotique.

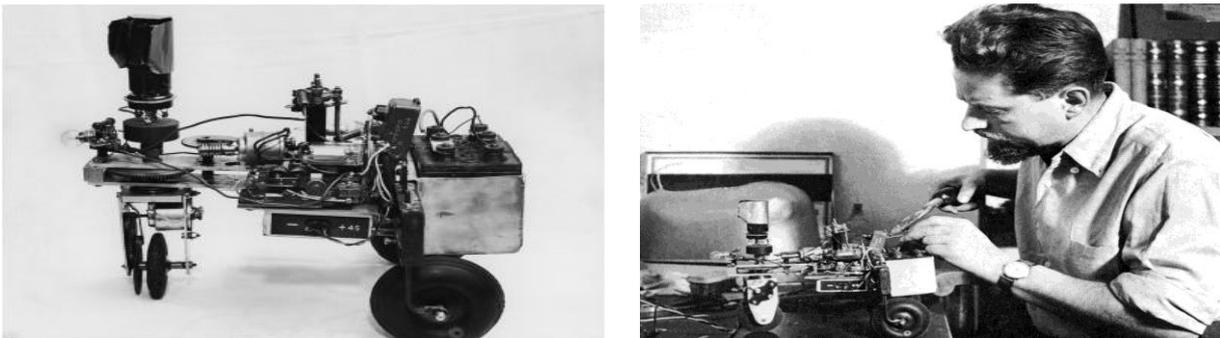


FIG I.1: Manipulateur maître esclave [4].

❖ En 1950-1960

1948 : Grey Walter invente le premier robot mobile autonome, une tortue se dirigeant vers les sources de lumière qu'elle perçoit. Cependant, ce robot n'est pas programmable [4].

La mise en place de robots n'a été possible que dans les années 50 avec la création des transistors et circuits intégrés [4].

I.2.2 Robotique industrielle

❖ 1950 -1970

1961 : Premier robot industriel mis en place dans une usine de General Motors : UNIMATE (tubes cathodiques de télévision) [4].

1972 : Nissan ouvre la première chaîne de production complètement robotisée.

1978 : PUMA (Programmable Universal Machine for Assembly) développé par General Motors (toujours utilisé) [4].

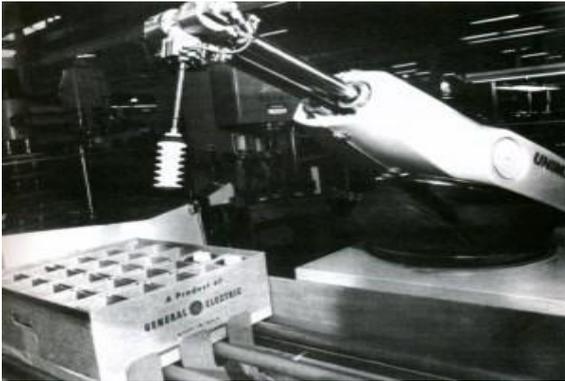


FIG I.2: Robot Unimate [4].

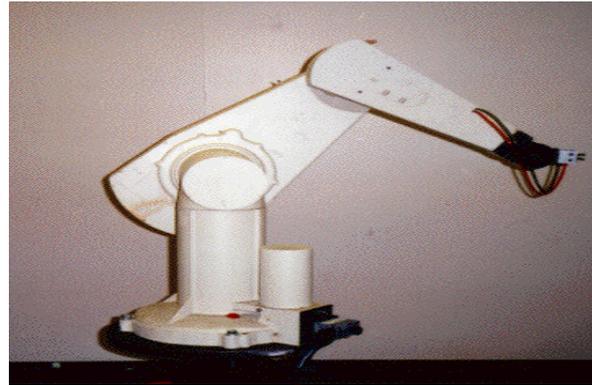


FIG I.3: Robot Puma [4].

I.2.3 Premiers robots mobiles

❖ 1960-1980

1960-1964 : Ouverture des laboratoires d'Intelligence Artificielle au M.I.T., Stanford Research Institute (SRI), Stanford University, University of Edinburgh [4].

Fin des années 60 : Mise en place de "Shakey" premier robot mobile intégrant perception, planification et exécution [4].

1970 : Stanford Cart.

1977 : premier robot mobile français HILARE au LAAS (CNRS Toulouse).



FIG I.5 : Robot Hilare [4].

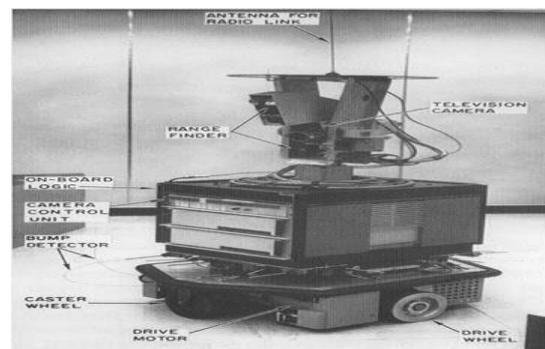


FIG I.4 : Robot Shakey [4].

❖ 1980-1990

Développement important de l'intelligence artificielle et de la robotique : de nouveaux robots apparaissent constamment [4].

I.2.4 Essor de la robotique mobile

❖ 1990-2000

1992 : Mise en place de la compétition annuelle AAAI sur la robotique mobile.

1995 : Mise en place de la RoboCup (lien video).

1997 : premier robot mobile extraplanétaire sur Mars.

1999 : Lancement de Aibo.

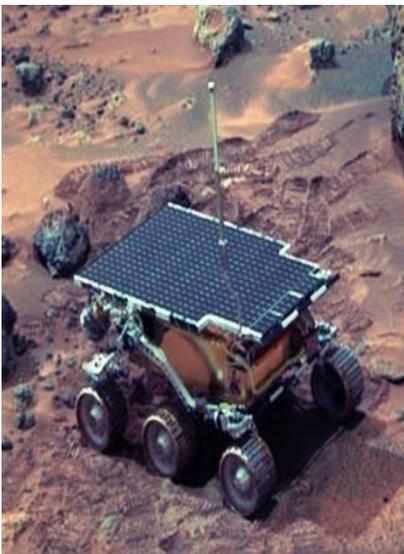


FIG I.6 :Robot Sojourner [4].



FIG I.7: Robocop [4].

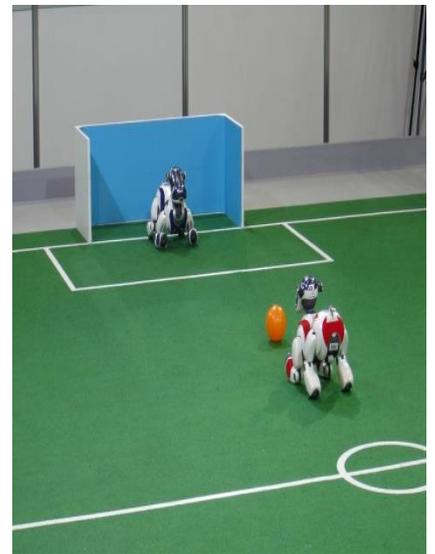


FIG I.8: Robot aibo [4].

I.2.5 Exploration

❖ Depuis 2000

2003 : Projet “Mars Exploration Rover” (Spirit & Opportunity) [4].

2009 : Projet “Mars Science Laboratory” succédant au projet Rover, envoi prévu de Curiosity fin 2011 [4].



FIG I.9 :Robot Spirit [4].



FIG I.10 :Robot Curiosity [4].

I.2.6 Démocratisation des robots

❖ Depuis 2000

2000 : Lancement d’Asimo.

Diversification des compétitions de robotique.

Utilisation de drones en situation réelle (Irak...).

2006 : le projet Aibo n’est plus assez rentable, fin de la production.

2009 : robot Nao utilise à la Robocup Soccer (lien video) [4].



FIG I.11: Robot Nao [4].

I.3 Constituants d'un robot



FIG I.12 : Architecture d'un robot [5].

I.4 Les éléments constitutifs d'un robot

De même qu'un trou n'est défini que par ce qui l'entoure, un robot n'a de sens que dans un environnement qu'il modifie » [6]. C'est pourquoi on peut distinguer les ensembles interactifs dans un robot en fonctionnement [7].

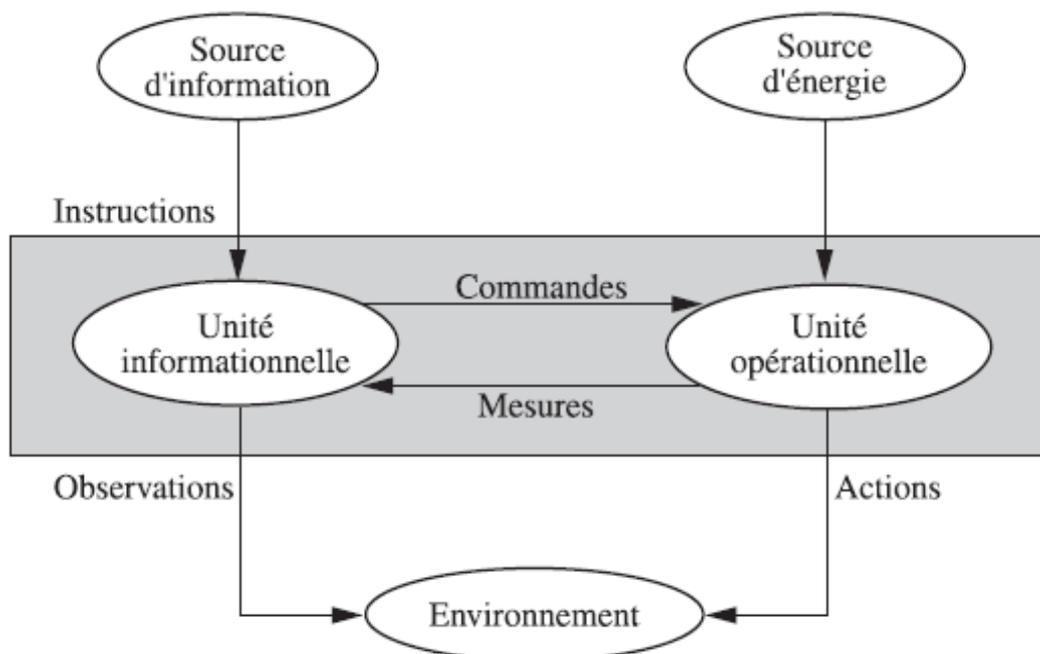


FIG I.13 : Structure fonctionnelle d'un robot [8].

I.4.1 Unité informationnelle

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 permanentement selon le cycle information-décision-action [8].

I.4.2 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 [8].

I.5. Performances des robots

Lorsqu'on désire fabriquer un appareil, une machine ou un équipement quelconque, l'utilisateur ou celui qui passe commande présente un cahier des charges. Ce cahier des charges définit les contraintes d'exploitation et il est souvent aisé de mesurer les performances de l'appareillage réalisé car elles s'expriment vis-à-vis de ces contraintes. Celles-ci peuvent être le poids et l'indépendance énergétique pour une machine transportable, le respect de la précision, la vitesse d'exécution, la fiabilité, etc... Pour d'autres machines.

On a vu qu'une des caractéristiques d'un robot est la versatilité, c'est-à-dire cette possibilité de faire des tâches diverses mais dont on ne sait pas dire lesquelles à l'avance. Comme on ignore a priori les utilisations du robot, on peut difficilement connaître les paramètres de référence permettant d'établir les performances. Certains se sont lancés dans des énumérations de qualité impliquant plusieurs centaines de paramètres si bien qu'il est impossible de s'y retrouver [9].

I.5.1 Les performances-tâches

Un robot appliquant des efforts et des déplacements à son organe terminal, on peut en cerner les caractéristiques qui sont importantes en pratique [9].

I.5.1.1 Le volume atteignable (volume de travail)

Le volume de travail en position d'un robot manipulateur est défini comme l'espace physique engendré par un point de l'organe terminal lorsque la configuration du robot évolue. Il s'exprime en unités volumiques, mais la forme de son enveloppe (qui peut-être compliquée puisque formée par la combinaison des mouvements de plusieurs articulations) est aussi importante (voir FIG I.14). Il est plus simple et plus parlant de la décrire par une surface inscrite au vrai volume mais de forme simple (par exemple intersection de sphères ou des parallélépipèdes ou des ellipsoïdes). Sinon il faut une représentation graphique. Le volume de travail est alors habituellement représenté par deux sections perpendiculaires choisies en fonction du type de robot manipulateur, cette représentation étant préférable à une seule vue en perspective [9].

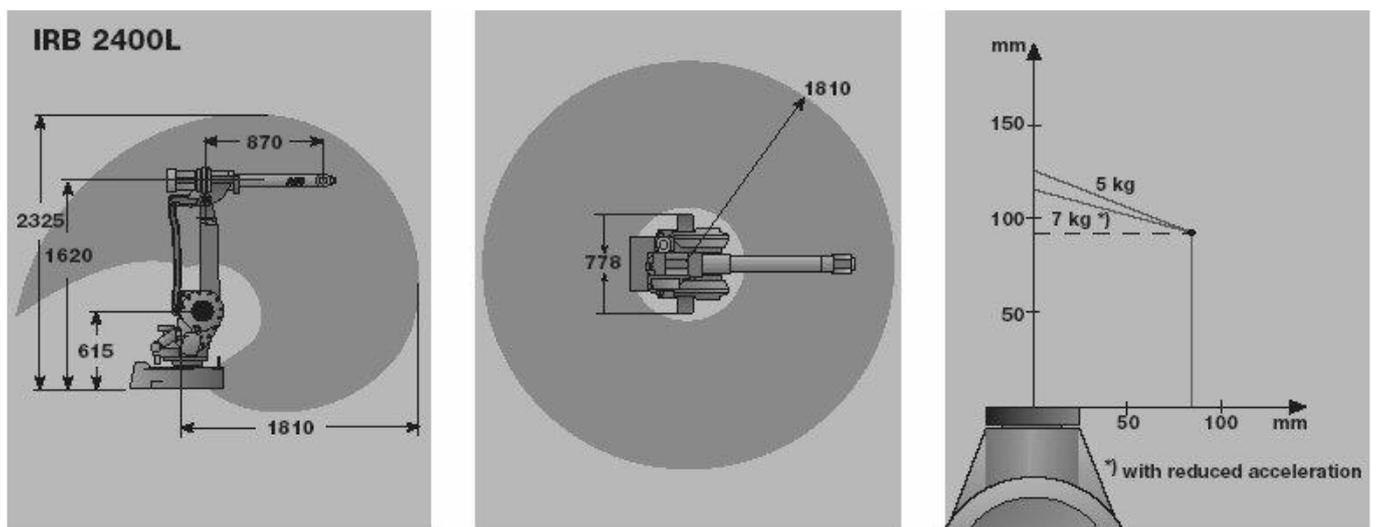


FIG I.14 : Représentation du volume de travail [9].

Quelques exemples sur les volumes de travail du robot

❖ **Robot PPP** : Le volume de travail est un parallélépipède dont les dimensions sont les translations permises par les trois liaisons prismatiques, d'où :

$$V = L_1 L_2 L_3$$

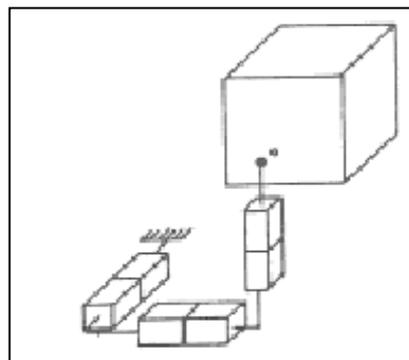


FIG I.15: Structure PPP [9].

❖ Robots RPP et RPR ou RRP

Le volume de travail est un cylindre plein ou creux, autrement dit un tore à section rectangulaire, dont la hauteur L est la translation permise par une liaison prismatique et dont les rayons intérieur et extérieur, R_i et R_e , sont fixés soit par la disposition d'une liaison prismatique et la translation qu'elle permet, soit par les longueurs des deux parties du bras :

$$v = \pi l (R_e^2 - R_i^2)$$

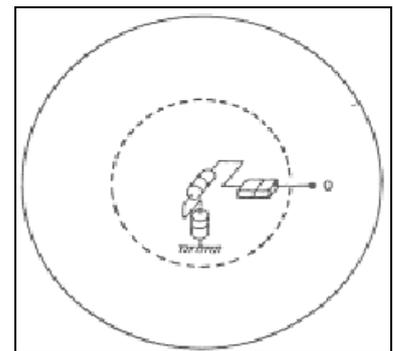
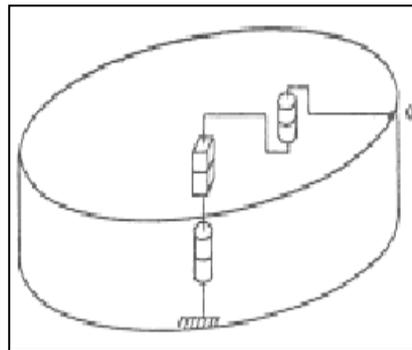
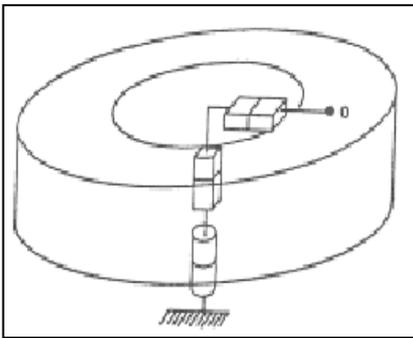


FIG I.16 : Structure RPP (ou PRP) [9].

FIG I.17 : Structure RPR [9].

FIG I.18 : Structure RRP [9].

❖ Robots RRP et RRR

Le volume de travail est une sphère creuse, dont les rayons intérieur et extérieur, R_i et R_e , sont fixés soit par la disposition de la liaison prismatique et la translation qu'elle permet, soit par les longueurs des deux parties du bras :

$$v = \frac{4}{3} \pi (R_e^3 - R_i^3)$$

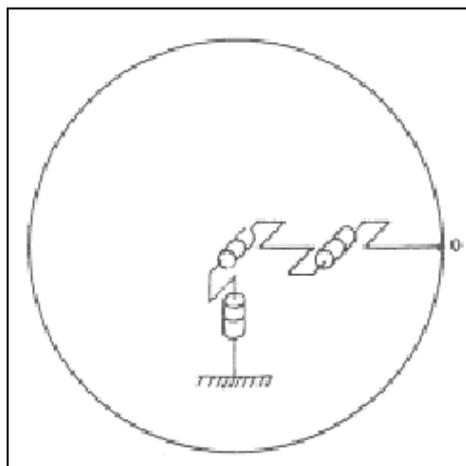


FIG I.19 : Structure RRR [9].

I.5.1.2 Charge utile

C'est la charge maximale que peut porter le robot sans dégrader la répétabilité et les performances dynamiques. La charge utile est nettement inférieure à la charge maximale que peut porter le robot qui est directement dépendante des actionneurs [9].

I.5.1.3 Précision / Répétabilité

- La précision du robot manipulateur est définie 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.
- Répétabilité: 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 [9].

I.5.1.4 La vitesse

C'est évidemment une caractéristique fondamentale pour les robots industriels, puisqu'elle déterminera les temps nécessaires à l'exécution d'une tâche. Or, ce sont ceux—ci qui intéressent essentiellement l'utilisateur. Dans l'évaluation des performances a priori, on ignore naturellement ces tâches. Il faut donc s'en tenir à des vitesses de déplacement et de rotation de l'organe terminal.

Les constructeurs sont assez évasifs sur les performances en vitesse de leurs robots. On parle d'ordre de grandeur ou de vitesse maximum, mais toujours pour des translations de l'organe terminal (1 à 2 m/s). On donne aussi souvent les vitesses de rotations articulaires maximales (1 rad/s à 1 tour/s), mais il est difficile d'en déduire la vitesse instantanée dans l'espace de la tâche, qui est la grandeur que l'utilisateur attend [9].

I.5.1.5 L'orientation possible de l'organe terminal

De par la présence de butées sur chaque articulation, et aussi parfois de par l'existence de couplages mécaniques entre articulations, il n'est pas toujours possible d'atteindre le maximum sur chacun des degrés de mobilité de l'organe terminal dans tout le volume atteignable. Il y aurait donc lieu, soit de donner les débattements angulaires minimaux de l'organe terminal par rapport au repère fixe dans tout le volume atteignable, soit de fournir une cartographie de ces débattements. (Ceci serait plus utile que la présentation des constructeurs, qui donnent le débattement de chaque articulation à partir d'une position de référence, en négligeant les problèmes de butées et de couplages qui modifient quelquefois de façon non négligeable les possibilités du mécanisme) [9].

I.5.1.6 La fiabilité

Bien qu'elle mette en jeu tous les éléments présents dans le robot, c'est une donnée qui intéresse au plus haut point l'utilisateur, même s'il ignore tout du système. C'est pourquoi on peut la classer dans les performances-tâche. Comme pour tout autre système, elle sera définie par un taux de pannes, celui-ci étant exprimé soit par la fraction du temps durant laquelle le robot ne remplit pas la fonction qui lui est assignée, soit par un MTBF (Mean Time Between Failures). On exprime aussi souvent cette fiabilité à l'aide d'un diagramme fréquentiel (fréquence de pannes) tout au long de la vie du système.

Le robot peut être sujet à deux grandes catégories de pannes :

1. Arrêt total du fonctionnement
2. Dégradation des performances. Par exemple sur la précision spatiale : une dérive plus ou moins lente peut se produire et, après un certain temps, le robot n'exécute plus la tâche. Ou bien un degré de mobilité ne fonctionne plus (il serait intéressant alors d'avoir une redondance des degrés de mobilité qui permette par une procédure automatique de compenser la défaillance en attendant de pouvoir réparer le robot) [9].

I.5.2 Les performances-homme

On entend par là la facilité d'utilisation du robot, ce dernier étant sur le site d'utilisation et entre les mains d'un opérateur non spécialiste. Les compétences exigées pour faire fonctionner un robot ont trait :

- À la connaissance du matériel réglage, etc.
- À la connaissance du logiciel programmation du robot [9].

I.5.3 Les performances économiques

Il s'agit essentiellement de la rentabilité d'utilisation de robots dans l'entreprise. Elle dépend bien sûr d'un grand nombre de facteurs :

1. coûts d'investissements :
 - Prix d'achat
 - Coût d'installation du robot et des équipements de péri-robotique
 - Coût de modification de l'atelier ou de la chaîne de production.
2. coûts d'exploitation
 - Énergies, maintenance, espérance de vie, fiabilité (doit-on laisser une possibilité de travail manuel en cas de panne?) et pourcentage temporel d'utilisation.
3. nature des tâches que les robots vont exécuter
 - Tâches qui revenaient cher en main-d'œuvre ou non?

- La cadence de la fabrication augmentera-t-elle?
- La qualité de la production sera-t-elle améliorée?
- Y aura-t-il réduction de la main-d'œuvre? (Supprime-t-on un poste d'O.S. pour le remplacer par un poste de technicien) ?

4. le degré d'automatisation déjà présent dans l'atelier

- Insérer un robot entre deux hommes ou réciproquement ne se justifie que dans des circonstances particulières, par exemple si la tâche est dangereuse.

5. la taille de l'entreprise

- Un robot seul peut ne pas être rentable mais une chaîne de plusieurs robots en ligne peut l'être.

Le constructeur de robots ne peut que proposer des robots "les plus performants possibles" et au "meilleur prix", en espérant atteindre le bon créneau après une étude de marché. C'est à l'utilisateur d'établir les performances économiques qu'il peut espérer, après avoir défini les tâches qu'il veut automatiser et les performances tâches et homme que les constructeurs peuvent lui proposer [9].

I.6 Les différents types de robots

I.6.1 Les robots SCARA

- SCARA = Selective Compliance Articulated

Robot pour assemblage

- Caractéristiques :
- 3 axes, série, RRP, 3 DDL.
- Espace de travail cylindrique.
- Précis.
- Très rapide.

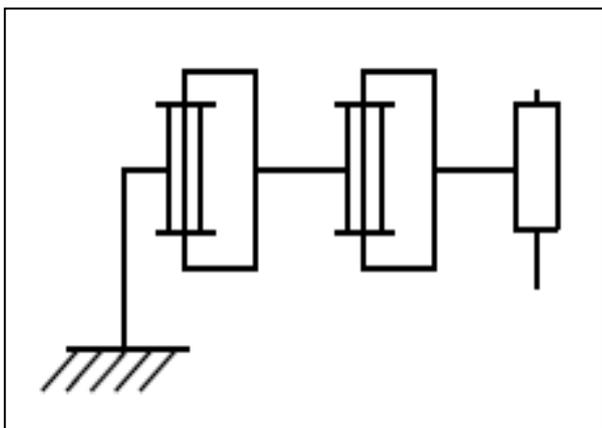


FIG I.20 : Robots SCARA [10].

I.6.2 Les robots cylindriques

- Caractéristiques :
- 3 axes, série, RPP, 3 DDL.
- Espace de travail cylindrique.
- Très rapide.

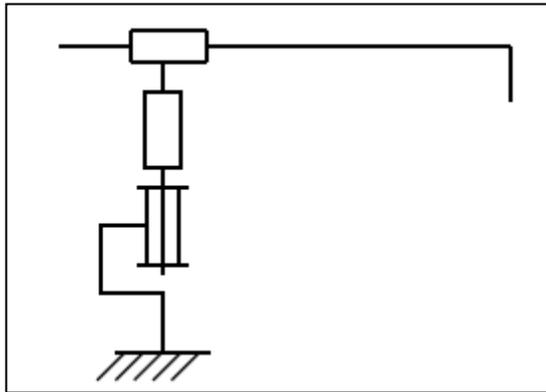


FIG I.21 : Robot Seiko [10].

I.6.3 Les robots sphériques

- Caractéristiques :
- 3 axes, série, RRT, 3 DDL.
- Espace de travail sphérique.
- Grande charge utile.

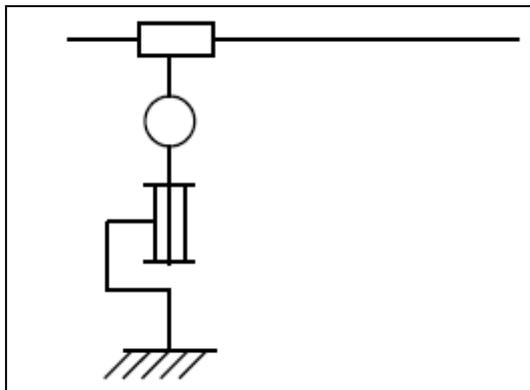


FIG I.22 : Robot fanuc [10].

I.6.4 Les robots Cartésiens

- Caractéristiques :
- 3 axes \perp 2 à 2, série, PPP, 3 DDL.
- Très bonne précision.
- Lent.

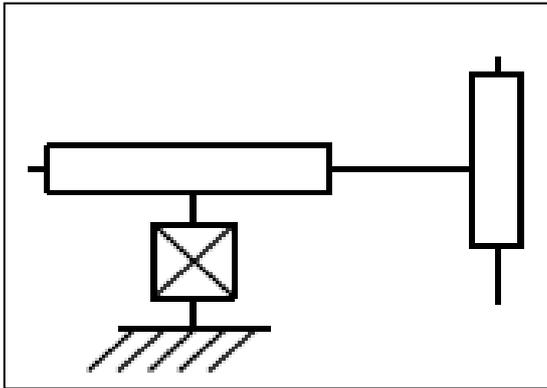


FIG I.23 : Robot Toshiba [10].

I.6.5 Les robots parallèles

- Caractéristiques :
- Plusieurs chaînes cinématiques en parallèle.
- Espace de travail réduit.
- Précis (grande rigidité de la structure).
- Rapide.



FIG I.24 : Robot COMAU [10].

I.6.6 Les robots anthropomorphe

Caractéristiques :

- Reproduisent la structure d'un bras humain.
- 6 axes, série, 6R, 6 DDL.

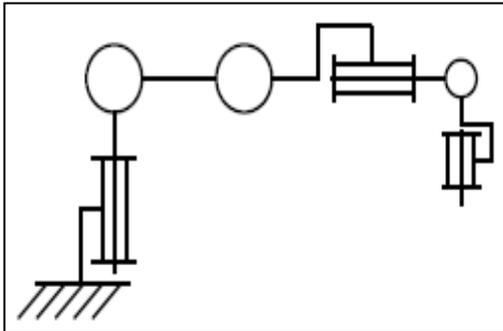


FIG I.25 : Robot Kawasaki [10].

I.7 type et classification des robots

I.7.1 Par type

I.7.1.1 Les manipulateurs

Les trajectoires sont non quelconques dans l'espace.

Les positions sont discrètes avec 2 ou 3 valeurs par axe.

La commande est séquentielle [1].

I.7.1.2 Les télémanipulateurs

Appareils de manipulation à distance (pelle mécanique, pont roulant), apparus vers 1945 aux USA.

Les trajectoires peuvent être quelconques dans l'espace.

Les trajectoires sont définies de manière instantanée par l'opérateur.

Généralement à partir d'un pupitre de commande (joystick) [1].

I.7.1.3 Les robots

Les trajectoires peuvent être quelconques dans l'espace.

L'exécution est automatique.

Les informations extéroceptives peuvent modifier le comportement du robot. On peut distinguer:

I.7.1.3.1 Les robots manipulateurs industriels



FIG I.26 : Un robot industriel Kawasaki FS-03N, robot de soudage [1].

I.7.1.3.2 Les robots didactiques

qui sont des versions au format réduit des précédents robots. La technologie est différente, de même que les constructeurs. Ils ont un rôle de formation et d'enseignement, ils peuvent aussi être utilisés pour effectuer des tests de faisabilité d'un poste robotisé [1].

I.7.1.3.3 Les robots mobiles autonomes

Les possibilités sont plus vastes, du fait de leur mobilité. Notamment, ils peuvent être utilisés en zone dangereuse (nucléaire, incendie, sécurité civile, déminage), inaccessible (océanographie, spatial). De tels robots font appel à des capteurs et à des logiciels sophistiqués. On peut distinguer deux types de locomotion : Les robots marcheurs qui imitent la démarche humaine, et les robots mobiles qui ressemblent plus à des véhicules [1].

I.7.2 Par génération

A l'heure actuelle, on peut distinguer trois générations de robots.

I.7.2.1 Le robot passif

Il est capable d'exécuter une tâche qui peut être complexe, mais de manière répétitive, il ne doit pas y avoir de modifications intempestives de l'environnement. L'auto-adaptativité est très faible, de nombreux robots sont encore de cette génération [1].

I.7.2.2 Le robot actif

Il devient capable d'avoir une image de son environnement, et donc de choisir le bon comportement (sachant que les différentes configurations ont été prévues). Le robot peut se calibrer tout seul [1].

I.7.2.3 Le robot intelligent

Le robot est capable d'établir des stratégies, ce qui fait appel à des capteurs sophistiqués, et souvent à l'intelligence artificielle [1].

I.8 Caractéristiques d'un robot

Un robot doit être choisi en fonction de l'application qu'on lui réserve. Voici quelques paramètres à Prendre, éventuellement, en compte :

- La charge maximum transportable (de quelques kilos à quelques tonnes), à déterminer dans les Conditions les plus défavorables (en élongation maximum).
- L'architecture du S.M.A., le choix est guidé par la tâche à réaliser (quelle est la rigidité de la Structure ?).
- Le volume de travail, défini comme l'ensemble des points atteignables par l'organe terminal. Tous Les mouvements ne sont pas possibles en tout point du volume de travail. L'espace de travail (reachable workspace), également appelé espace de travail maximal, est le volume de l'espace que le robot peut atteindre via au moins une orientation. L'espace de travail dextre (dextrous6 Workspace) est le volume de l'espace que le robot peut atteindre avec toutes les orientations Possibles de l'effecteur (organe terminal). Cet espace de travail est un sous-ensemble de l'espace de travail maximal.
- Le positionnement absolu, correspondant à l'erreur entre un point souhaité (réel) – défini par une position et une orientation dans l'espace cartésien – et le point atteint et calculé *via* le modèle géométrique inverse du robot. Cette erreur est due au modèle utilisé, à la quantification de la mesure de position, à la flexibilité du système mécanique. En général, l'erreur de positionnement absolu, également appelée précision, est de l'ordre de 1 *mm*.
- La répétabilité, ce paramètre caractérise la capacité que le robot a à retourner vers un point (position, orientation) donné. La répétabilité correspond à l'erreur maximum de positionnement sur un point prédéfini dans le cas de trajectoires répétitives. En général, la répétabilité est de l'ordre de 0,1 *mm*.
- La vitesse de déplacement (vitesse maximum en élongation maximum), accélération.
- La masse du robot.
- Le coût du robot.
- La maintenance [1].

I.9 Les robots manipulateurs industriels

I.9.1 Définition

Un robot industriel est un manipulateur à plusieurs degrés de liberté contrôlé automatiquement, reprogrammable et multitâche qui peut être fixe ou mobile pour une application en automatisation industrielle. Le robot industriel se compose d'une structure mécanique animée par des actionneurs, à partir d'ordres élaborés par un ordinateur. Ces ordres dépendent des informations délivrées par les capteurs [11].

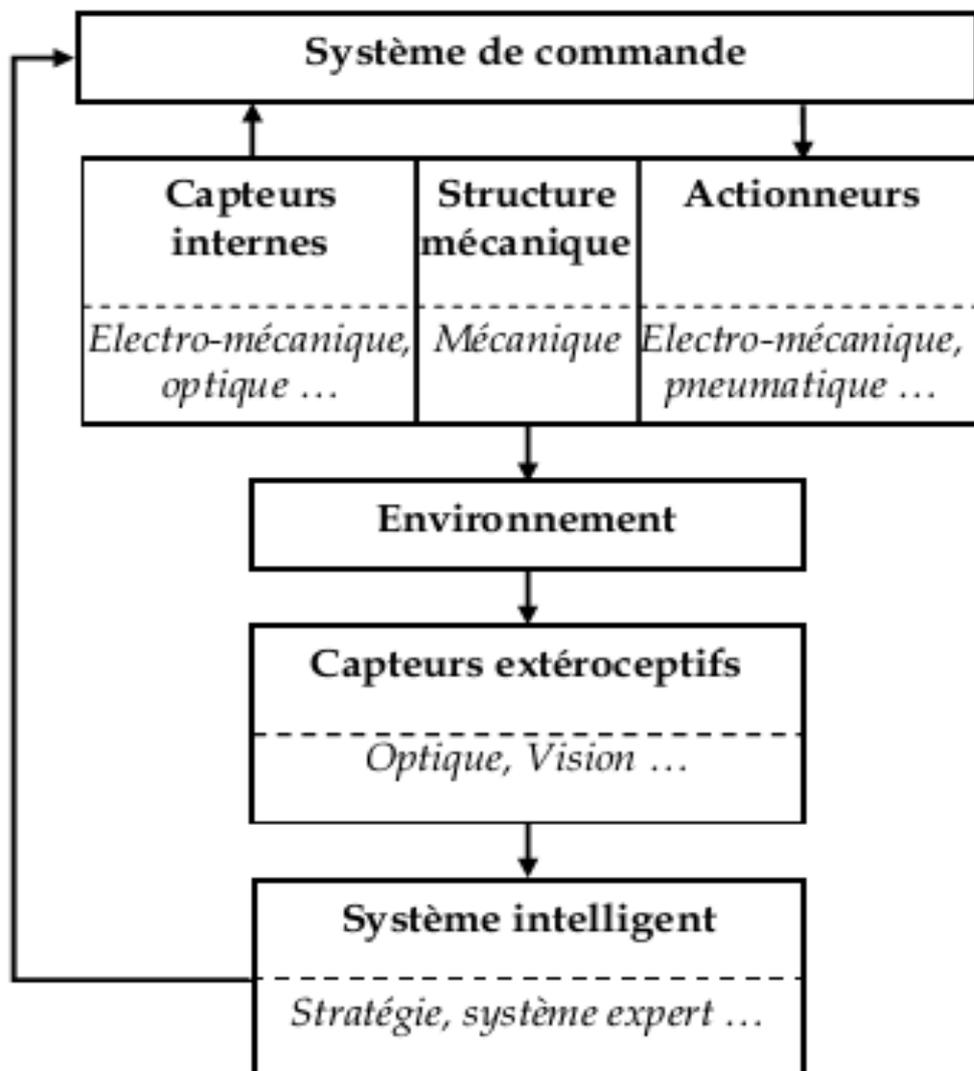


FIG I.27 : Structure générale d'un robot industriel [11].

I.9.2 Historique robot industriel

1959 : Création du premier robot "Unimate" par l'entreprise Unimation.

1961 : Installation du premier robot industriel (GM) : manipulation de pièces de fonderie.

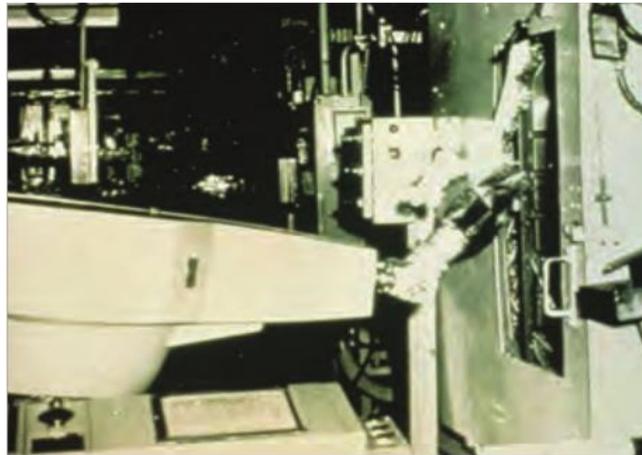


FIG I.28 : Robot Unimate [12].



FIG I.29 : Robot de soudage [12].

1969 : Première ligne robotisée de peinture (Trallfa (Norvège)).

1969 : Accord de licence entre Kawasaki et Unimate (1er robot industriel produit au Japon).

1973 : Premier robot à 6 axes électromécaniques par KUKA.

1973 : Premier robot incluant un capteur de vision pour du boulonnage sur objets mobiles.

1974 : Premier robot de soudure à l'arc par Kawasaki (cadres de motos).

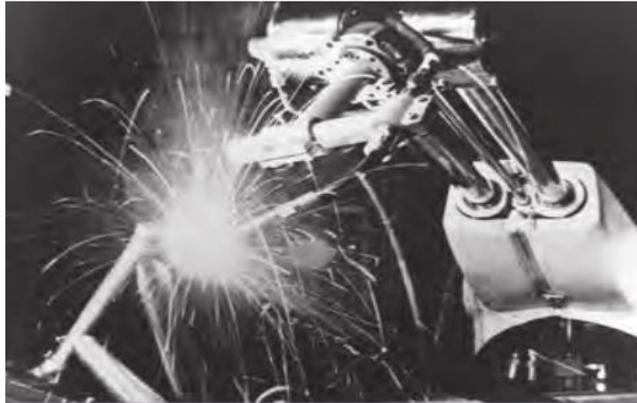


FIG I.30 : Robot de soudage [12].

1978 : Unimation lance le premier robot PUMA pour la manipulation de petites charges.



FIG I.31 : Robot PUMA [12].

1981 : Conception du premier robot "Direct-Drive" par Takeo Kanade (CMU, USA).



FIG I.32 : AdeptOne par Adept (1984) [12].

1992 : 1ère application d'un robot Delta pour des applications de pick-and-place.

1998 : ABB Flexpicker : 120 objets/minute, vitesse de déplacement 10m/s.

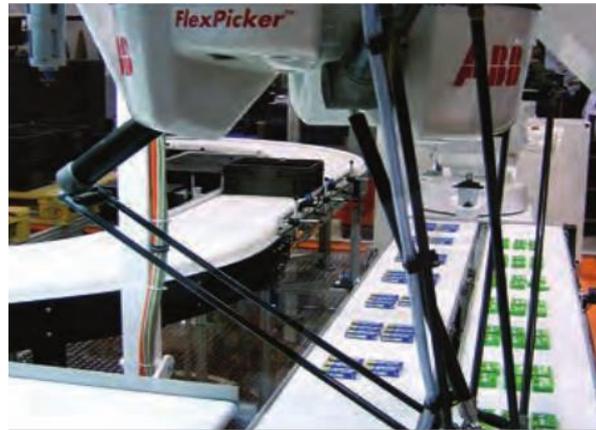


FIG I.33 : Robot ABB [12].

I.9.3 Classification

Robots industriels de Soudage.

Robots industriels de Peinture.

Robots industriels d'Assemblage.

Robots industriels d'Emballage et palettisation.

Robots industriels d'usinage.

Robots industriels de biologique.

I.9.3.1 Robots industriels de Soudage

Le soudage à l'arc est une des applications robotisées les plus répandues. Le gain de productivité est très important, de deux à cinq fois plus que pour les opérations de soudage manuel. Les autres avantages de la robotisation des opérations de soudage à l'arc résident dans la suppression de tâches pénibles et dangereuses pour la santé du fait de la nocivité des fumées ou de la difficulté à manipuler des pièces de dimensions importantes. La robotisation permet également de faire face au manque de main-d'oeuvre qualifiée dans ce domaine.

Le procédé MIG/MAG est le plus souvent robotisé (85 % des applications) mais le soudage TIG avec ou sans métal se développe de plus en plus.

Les robots de soudage à l'arc sont principalement présents dans l'industrie automobile (majoritairement chez les équipementiers) dans les secteurs du machinisme agricole, du mobilier métallique, des équipements du bâtiment et des travaux publics, de la chaudronnerie et de la sous-traitance en

mécanosoudure. Les équipements robotisés vont des cellules simples et compactes destinées à des pièces de petits volumes, jusqu'aux applications dédiées dans lesquelles le robot pilote également plusieurs axes supplémentaires de déplacement ou de rotation des pièces à souder. Les configurations comptent au minimum deux postes de travail permettant à l'opérateur de réaliser en temps masqué les opérations de manutention des pièces à souder. Le robot pilote un équipement de soudage dédié aux applications robotisées (générateur, dévidoir, torche) et l'installation doit impérativement comporter des protections contre le rayonnement de l'arc et un système de captation des fumées. En plus de la répétabilité des trajectoires, les robots de soudage disposent de fonctions avantageuses telles que la relocalisation des pièces à souder ou le suivi de joint. Ces fonctions permettent de pallier les incontournables difficultés de préparation des pièces dans les applications d'assemblage de secteurs comme la tôlerie ou la chaudronnerie (jeux, qualité du pointage, précision de pliage...). La robotique peut s'associer à d'autres technologies de soudage comme le laser, le soudage plasma, le soudage par résistance [13].



FIG I.34 : Robots industriels de Soudage [13].

I.9.3.2 Robots industriels de Peinture

Les applications de peinture et de pulvérisation avec robot se développent compte tenu des contraintes de plus en plus importantes imposées pour la protection de l'environnement. En effet, les produits utilisés sont souvent toxiques et doivent être appliqués de manière précise pour un rendu optimal. L'utilisation d'un robot spécifique peinture associé à un logiciel métier offre un contrôle précis du process peinture

(apprêts, base, vernis) et des différents paramètres (largeur de jet, air d'atomisation, pression...). Le robot de peinture dispose de caractéristiques particulières pour fonctionner en ambiance explosive et correspond aux normes en vigueur dans les différents pays, par exemple CE ATEX en Europe. Il utilise un système de pulvérisation dédié, un pistolet de peinture pneumatique ou un bol électrostatique. Des robots standard sont souvent utilisés en amont du process de peinture pour des opérations de soufflage ou de flammage pour garantir la meilleure qualité de finition.

Les avantages pour l'utilisateur sont multiples. Tout d'abord, les quantités de peinture ou de solvants utilisées sont réduites, ce qui limite notablement l'impact sur l'environnement. En effet, la qualité de la trajectoire du robot associée au contrôle du processus d'application permet d'optimiser les épaisseurs spécifiées avec un minimum de variation, assurant une qualité accrue des pièces, une diminution des quantités de peinture utilisées, et une baisse conséquente des coûts.

La flexibilité du robot permet également d'enchaîner sur une même ligne des pièces de dimensions ou de couleurs différentes qui arrivent à la volée sur un système de convoyeur. Les cabines de peinture robotisées sont en général plus compactes, tirant parti d'options de fixation multiples proposées par les robots (sol, mur ou plafond). Le secteur automobile utilise largement les robots pour des opérations de peinture, en particulier pour les carrosseries ou les pare-chocs. Mais les robots sont aussi beaucoup utilisés pour peindre tout type de pièces, qu'elles soient métalliques, en plastique ou en bois [13].



FIG I.35 : Robots industriels de Peinture [13].

I.9.3.3 Robots industriels d'assemblage

Les opérations d'assemblage mettent pleinement en avant les qualités intrinsèques des robots, en particulier leur grande dextérité, précision et fiabilité. Ces opérations impliquent en effet des mouvements généralement complexes réalisés la plupart du temps par des robots disposant de 6 degrés de liberté afin de reproduire les actions d'un bras humain. Le robot est capable de travailler avec une très grande précision de l'ordre de 0,1 mm, largement supérieure à ce que peut reproduire l'être humain. On peut même l'utiliser pour du micro-assemblage dans les domaines de l'électronique ou de l'horlogerie par exemple.

Les équipementiers et constructeurs automobiles utilisent largement les robots pour des applications d'assemblage, tirant ainsi parti de leur grande fiabilité. La gamme des robots s'est élargie au cours de ces dernières années, permettant de manipuler et d'assembler des pièces de petites dimensions sur quelques centimètres, jusqu'à des pièces volumineuses de plusieurs centaines de kilos sur quelques mètres. Les opérations d'assemblage robotisé nécessitent parfois d'intégrer un système de vision et des convoyeurs afin d'offrir davantage de flexibilité pour la prise des pièces et d'apporter des fonctions supplémentaires comme le contrôle.

D'autre part, l'utilisation d'un robot d'assemblage permet de réduire sensiblement les risques de TMS au sein des entreprises, laissant le soin au robot d'effectuer des tâches répétitives parfois réalisées dans des environnements difficiles [13].



FIG I.36 : Robots industriels d'Assemblage [13].

I.9.3.4 Robots industriels d'Emballage et palettisation

L'emballage et la palettisation sont toujours des applications mineures des robots industriels, comptant seulement pour 2,8% du parc en 1997. Les prévisions pour ce type d'applications sont en croissance significative étant donné que les robots deviennent de plus en plus faciles à manipuler.



FIG I.37 : Robots industriels d'Emballage et palettisation [13].

I.9.3.5 robot industriel d'usinage

Le principe de l'usinage est d'enlever de la matière de façon à donner à la pièce brute la forme et les dimensions voulues, à l'aide d'une machine-outil. Par cette technique, on obtient des pièces d'une grande précision.

L'usinage est très utilisé dans l'aéronautique, l'automobile, le ferroviaire, le nucléaire ou encore le prototypage.



FIG I.38 : Robots industriels de perceuse [13].

Le robot est capable d'usiner de nombreux matériaux. Lorsque l'on utilise un robot pour usiner, on met en place une broche en bout du sixième axe [13].

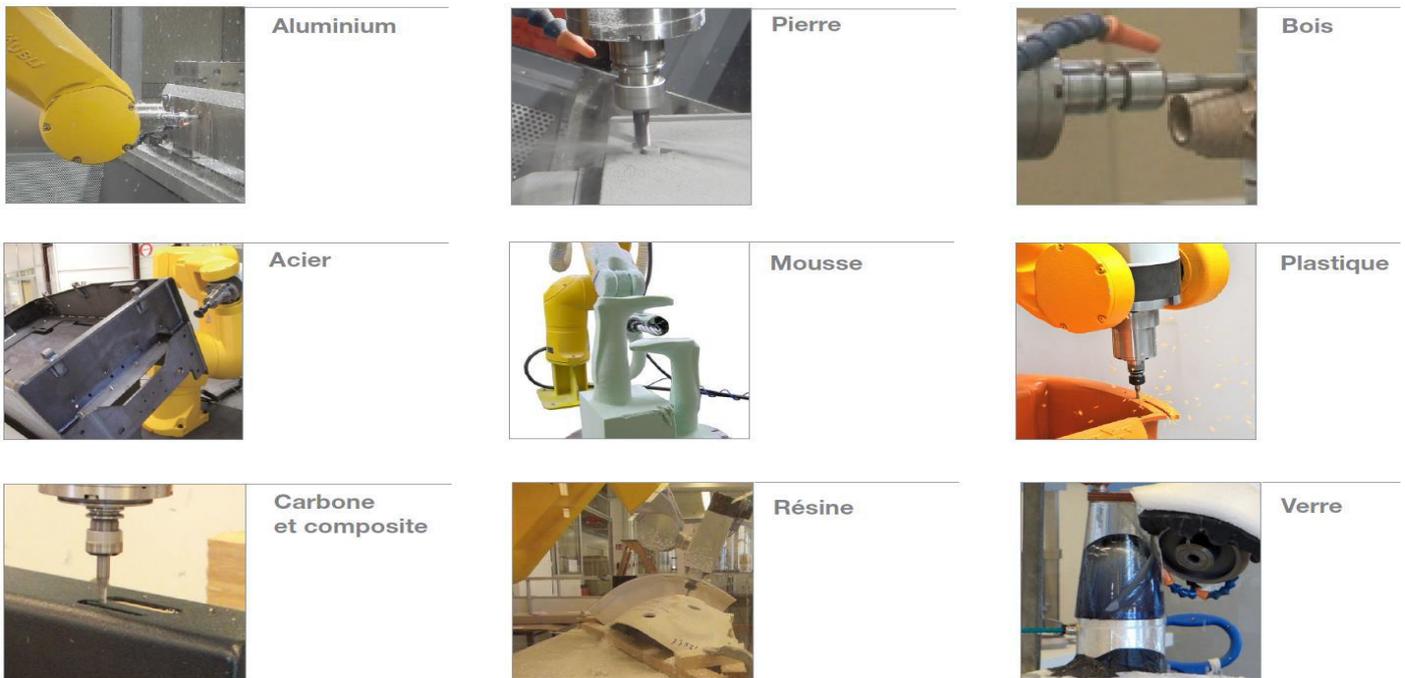


FIG I.39 : domaine d'application Robots industriels de perceuse [13].

I.9.3.6 Robots dans les Biotechnologies

Les applications dans l'industrie pharmaceutique et dans les biotechnologies constituent également un marché d'avenir encore presque vierge.

Ex: le système robotisé de For BioRobotics (Australie) pour la micro-propagation des plantes. Le processus réalise une culture de plants, en coupant la tige de chaque plant en segments et en les replantant pour faire venir de nouveaux plants



FIG I.40 : Robots dans les Biotechnologies [13].

I.10 Les robots de service

La robotique de service est une industrie relativement jeune qui a connu plusieurs améliorations technologiques. Même s'il n'y a pas encore consensus, l'IFR propose une définition qui se lit comme suit : « Un robot qui opère de façon automatique ou semi-automatique pour réaliser des services utiles pour le bien-être des humains et des équipements, excluant les opérations manufacturières. »

L'idée de cette définition est d'éviter toute confusion avec les robots industriels utilisés présentement dans les entreprises manufacturières. Souvent, même si ce n'est pas toujours le cas, les robots de service sont mobiles. Voici une liste non exhaustive d'utilisations possibles de la robotique de service :

- Robot dans l'agriculture pour les semences ou les récoltes.
- Robot dans les mines pour le transport du minerai et pour l'inspection des souterrains.
- Robot d'inspection d'infrastructures (ponts, viaducs, barrages).
- Robot d'assistance pour des personnes handicapées.
- Robot de surveillance et de sécurité [14].

I.10.1 Exemples d'applications robotique de service

I.10.1.1 Agriculture

Les robots en agriculture ne sont pas encore largement utilisés, car ils dépendent du développement du traitement de l'information collectée par les différents senseurs. Couplés avec un système de GPS, les robots en agriculture pourraient œuvrer dans la semence, le désherbage, l'arrosage et la cueillette. La difficulté principale est au niveau de l'environnement très changeant et varié, ce qui complexifie autant la conception mécanique du robot que les algorithmes de traitement des informations. L'implantation de ce type de robot dans des serres constitue une avenue intéressante pour débiter avec ces nouvelles technologies. En effet, l'environnement est plus stable et contrôlé, ce qui devrait faciliter la tâche [14].



FIG I.41 : Robots de Service aux Equipements [14].

❖ «Skywash» (Putzmeister Werke, Germany) [DUY04] [GER04]

Peut diminuer le temps de lavage d'un avion, Skywash intègre toutes les composantes d'un système robotique avancé : préprogrammation 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 ddl) installée sur une base mobile et une sécurité de fonctionnement maximale. Le manipulateur agit sous la supervision d'un être humain [14].

❖ «Mighty Hand» (Kajima, Japan)

Est destiné à porter des éléments lourds dans les travaux de construction : murs en béton, etc. Le robot opère sous la supervision d'un homme.

Ce robot de nettoyage et d'inspection sous-marin (Kansai electric Power Company and Toshiba Corporation, Japan), est utilisé pour le contrôle et le nettoyage des surfaces intérieures des tubes immergés des centrales nucléaires. Le robot nettoie les surfaces avec des jets d'eau sous pression. Il inspecte les lignes des tubes en recherchant avec une caméra les sections où il y a des pelades ou des dommages [14].

❖ « The HelpMate » (of HelpMate Robotics, USA)

Est un robot mobile pour les hôpitaux. Il transporte les repas, les médicaments, les dossiers dans le corridor.

Des interfaces utilisateurs simples et claires, un système de navigation efficace et sa capacité à ouvrir les portes ou à utiliser les ascenseurs en font un pionnier en terme de technologie et d'avantages apportés à l'utilisateur [14].

❖ CyberGuard (de Cybermotion Inc.USA)

Est un outil puissant pour la sécurité, la détection incendie, la gestion de l'environnement et des bâtiments. Ce robot mobile autonome est équipé d'un système de navigation même en milieu chaotique, un système de rechargement à quai, une batterie d'instruments de surveillance [14].

I.10.2- Robots d'exploration spatiale

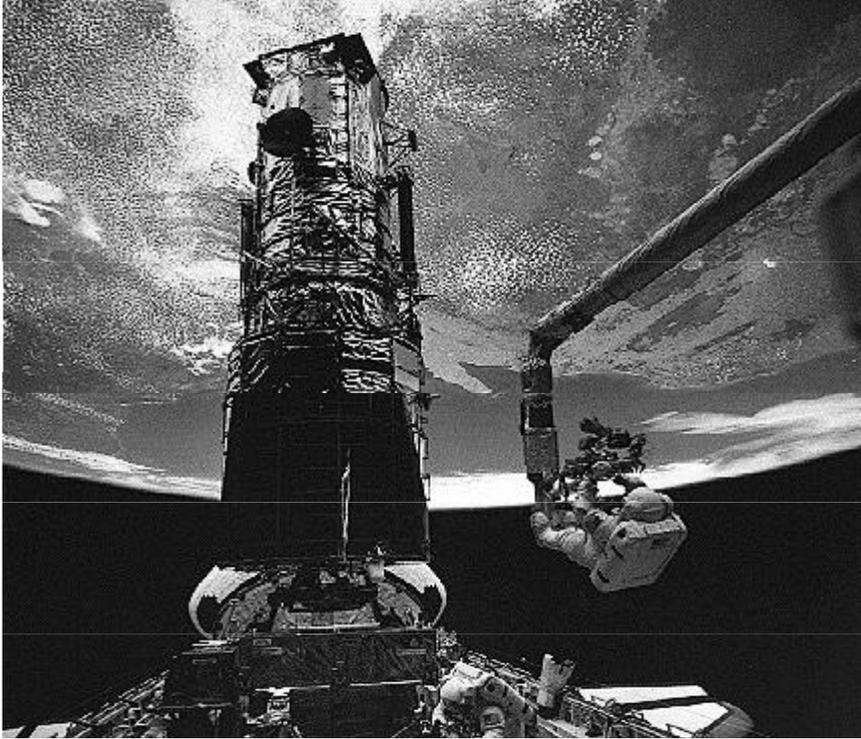


FIG I.42 : Le Remote Manipulator du Space Shuttle [14].

I.10.3 La robotique médicale

Au cours des dernières décennies, les systèmes robotisés ont connu une révolution majeure grâce, d'une part aux efforts réalisés en termes d'optimisation et de miniaturisation des composants mécaniques, d'autre part aux évolutions extraordinaires de l'électronique et de l'informatique qui ont amélioré de façon importante l'interaction des robots avec leur environnement. Cette révolution a profité à toutes les disciplines de la mécatronique et particulièrement à la robotique médicale.

En robotique médicale, les applications s'articulent autour de deux axes, à savoir, la robotique d'assistance aux personnes et la robotique d'assistance aux médecins :

- La première famille de robots, vise à améliorer le quotidien du patient soit via une assistance directe, par exemple, la réalisation de certains gestes pour les personnes handicapées et les personnes âgées, ou bien dans le cadre d'un traitement tel que la rééducation orthopédique (Figure 1)
- La deuxième famille vise, quant à elle, à assister le médecin pour la réalisation de l'acte médical en lui offrant la possibilité de réaliser des gestes fins et précis, et de réaliser des interventions peu invasives qui minimisent ainsi les traumatismes [15].



FIG I.43 ROBOPED pour la rééducation orthopédique [15].



(a) Manipulateur maître du robot Zeus



(b) Manipulateur esclave du robot Zeus

FIG I. 44 : Système de télé-chirurgie Zeus de Computer Motion [15].

L'introduction de la robotique dans la pratique médicale a permis d'ouvrir le champ à des techniques très innovantes telles que la chirurgie mini-invasive, la chirurgie à distance (Figure 2), les robots d'imagerie médicale, etc. Dans le cadre de ce travail de thèse, nous nous intéresserons aux robots d'imagerie médicale et plus particulièrement à la radiologie interventionnelle. Pour un état de l'art détaillé sur la robotique médico-chirurgicale, le lecteur pourra se référer à (*Van Meer 2005*) [15].

I.10.4 les robots militaires

Les robots sont beaucoup utilisés par l'armée pour simplifier la vie des soldats et limiter les pertes humaines, en voici quelques catégories :

- les robots démineurs.
- les drones.
- les robots de combat.

Et bien d'autres.

I.10.4.1 Les premiers robots militaires

Le premier robot militaire était le « Goliath » utilisé par l'armée allemande durant la 2ème guerre mondiale. Il était monté sur des chenilles et contenait une masse d'explosifs pouvant détruire un char, il était conçu pour être détruit après l'explosion [16].



FIG I.45 : robots démineurs [16].

I.10.4.2 Les robots démineurs

Les robots démineurs sont utilisés dans l'armée parce que les robots sont plus précis et limitent le risque d'explosion, alors, pourquoi un humain pourrait perdre la vie alors qu'un robot peut faire le travail à leur place.



FIG I.46 : robots démineurs [16].

I.10.4.3 Les drones

Les drones militaires sont utilisés pour repérer les ennemis dans un avion sans conducteurs, on appelle ces robots, des « drones de reconnaissance » mais il existe aussi des « drones de combats » qui sont équipés d'un armement utilisable à distance.



FIG I.47 : Les drones [16].

I.11 Conclusion

Nous avons présenté, dans ce chapitre la plupart des types de robots qui sont des véhicules qui remplacent l'homme dans les tâches pénibles et dangereuses actuellement plus encore dans l'avenir. Les robots sont utilisés dans le domaine industriel.

CHAPITRE II

Méthodes de calcul de la géométrie d'un Robot

II.1 Introduction

La conception et la commande des robots nécessitent le calcul de certains modèles mathématiques, tels que :

- les modèles de transformation entre l'espace opérationnel (dans lequel est définie la situation de l'organe terminal) et l'espace articulaire (dans lequel est définie la configuration du robot). On distingue :
- les modèles géométriques direct qui expriment la situation de l'organe terminal en fonction des variables articulaires du mécanisme et inversement.

On présente dans ce chapitre quelques méthodes permettant d'établir ces modèles. On se limitera au cas des robots à structure ouverte simple.

II.2 Représentation des transformations rigides

II.2.1 Notations et définitions

L'objet de ce paragraphe est de fournir un ensemble de définitions mathématiques précises pour l'étude des mécanismes poly articulés [17].

II.2.2 Points

Soit un repère orthonormé cartésien note $R = (O, x, y, z)$ selon la convention de Gibbs. La position d'un point M est donnée par un triplet de coordonnées. On choisit par commodité de représenter ces coordonnées par un vecteur \mathbf{m} de R_3 , sous la forme d'une matrice colonne :

$$\mathbf{m} = \begin{pmatrix} m_x \\ m_y \\ m_z \end{pmatrix}$$

Le mouvement du point est la courbe paramétrée $\mathbf{m}(t)$ de R_3 donnant sa position au cours du temps. Le support du mouvement (la courbe non paramétrée) est la trajectoire du point [17].

II.2.3 Solides

Un solide S est dit indéformable si, pour toute paire de points de ce solide de coordonnées \mathbf{m} et \mathbf{n} , $\|\mathbf{m}(t) - \mathbf{n}(t)\| = \|\mathbf{m}(0) - \mathbf{n}(0)\| = \text{constante}$ au cours du temps. Par la suite, les solides seront tous considérés comme indéformables [17].

Le mouvement rigide d'un solide S, considéré comme un sous-ensemble de R^3 est le mouvement de chacun de ses points.

La situation d'un solide S est donnée par la position et l'orientation dans R d'un repère lié à ce solide [17].

II.2.4 Transformations rigides

On appelle transformation rigide le résultat d'un mouvement rigide amenant le solide d'une situation initiale à une situation finale. Une transformation rigide est représentée par une application unique qui transforme les coordonnées des points du solide S de leur position initiale vers leur position finale.

À l'inverse, une application représentera une transformation rigide si elle conserve à la fois les distances et l'orientation. Cela signifie notamment qu'un repère orthonormé direct reste orthonormé direct par application d'une telle transformation [17].

II.3 Modèle géométrique d'un robot en chaîne simple

II.3.1 Nécessité d'un modèle

- Les modèles *géométriques directs* qui expriment la situation de l'organe terminal en fonction de la configuration du mécanisme.

Définir les différentes tâches d'un robot réclame de pouvoir positionner l'organe terminal par rapport à un repère de référence.

En effet :

- Les informations proprioceptives (issues du S.M.A.) sont généralement définies dans des repères liés aux différents solides du robot [1].

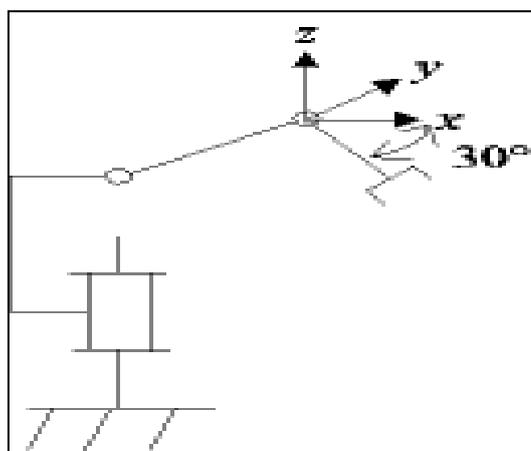


FIG II.1 : Position du point P dans le repère final [1].

- La position à atteindre est souvent définie dans un repère lié au socle du robot.
- L'objet à saisir peut être défini dans un repère mobile indépendant du robot (par exemple, des pièces à prendre sur un tapis roulant).
- Les informations extéroceptives (issues de l'environnement) sont définies dans divers repères.

Aussi, il faut un référentiel commun afin de « ramener » les diverses informations dans un même référentiel, notamment pour concevoir les consignes des actionneurs [1].

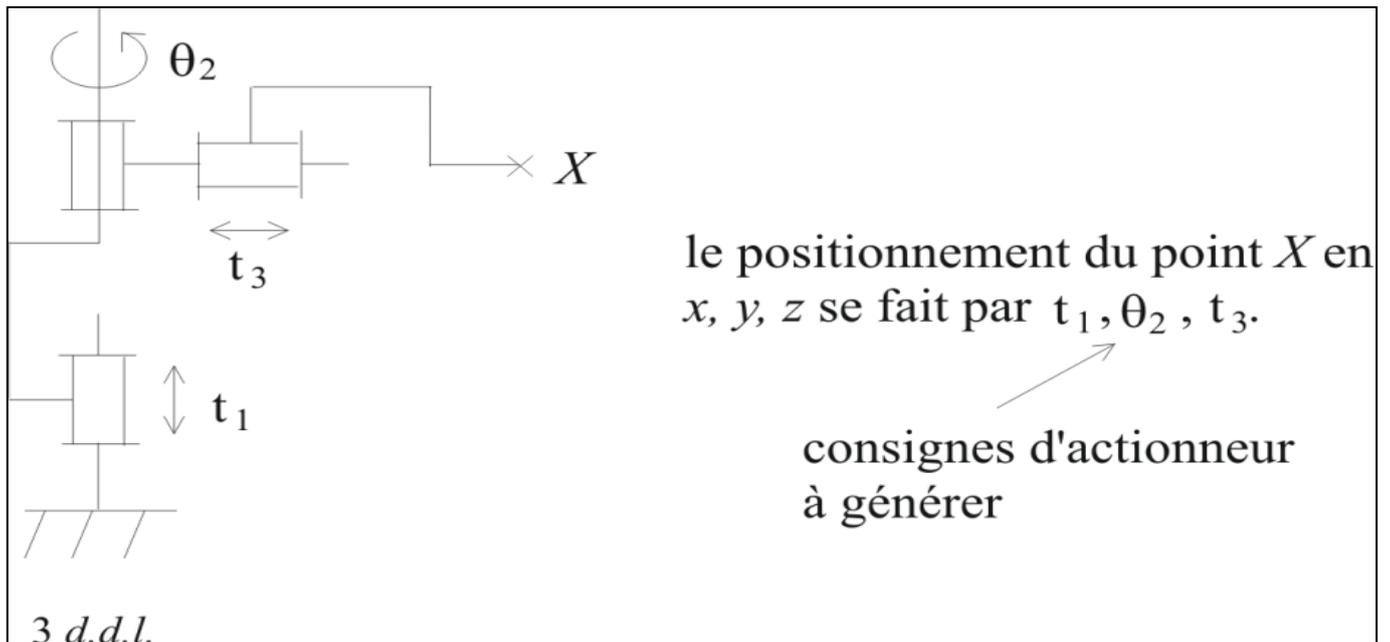


FIG II.2 : Le positionnement du point X [1].

On a une relation matricielle du type : $X = f(q)$ avec $X = \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix}$, $q = \begin{pmatrix} q_1 \\ q_2 \\ q_3 \end{pmatrix}$

Où f est une fonction vectorielle statique (la variable temporelle n'intervient pas). Dans le cas de l'exemple précédent, on a : $q_1 = t_1$, $q_2 = \theta_2$, $q_3 = t_3$.

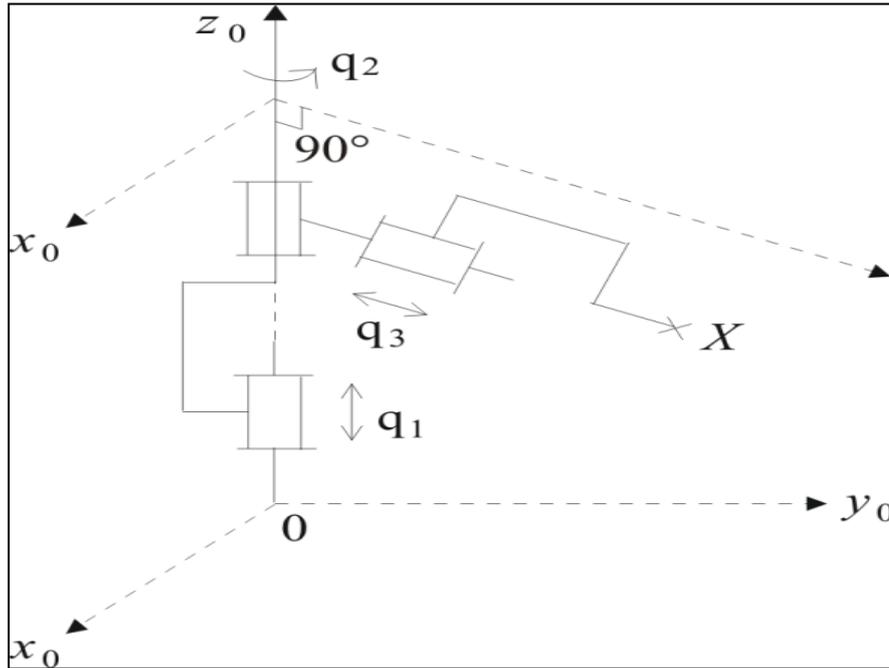


FIG II.3 : vectorielle statique [1].

II.3.2 Coordonnées opérationnelles

Plusieurs possibilités existent pour la définition du vecteur X selon les méthodes utilisées pour spécifier la position et l'orientation. Par exemple, si l'orientation est spécifiée à l'aide des *cosinus directeurs* (décrits ci-dessous), on aura :

$$\underline{X} = \left[\begin{array}{cccccccccccc} M_x & M_y & M_z & a_{11} & a_{21} & a_{31} & a_{12} & a_{22} & a_{32} & a_{13} & a_{23} & a_{33} \end{array} \right]^t$$

position
orientation

voir a)
voir b)

a) En général, on définit la position d'un point du repère lié à l'organe terminal via des coordonnées cartésiennes (3 longueurs), cylindriques (2 longueurs + 1 angle) ou sphériques (1 longueur + 2 angles).

Exemple des coordonnées cylindriques pour positionner le point (origine du repère) dans le repère R_1 :

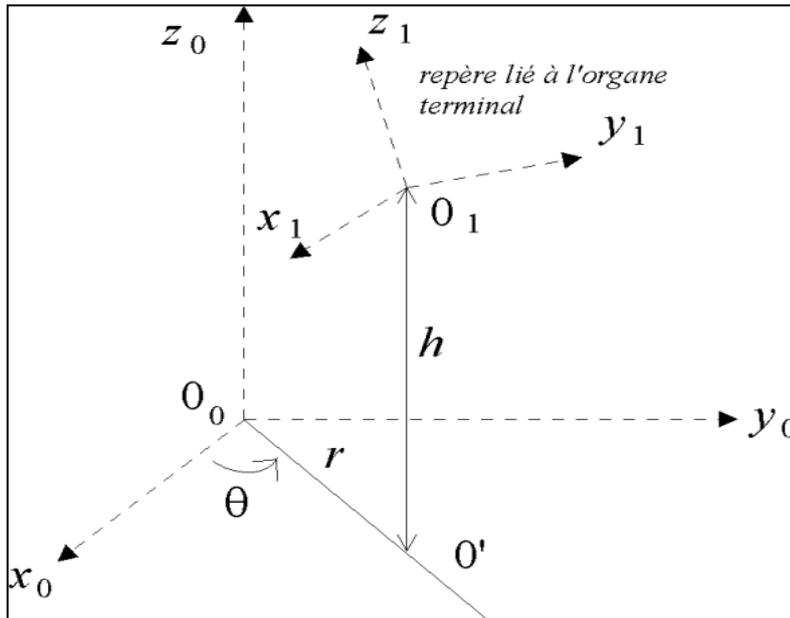


FIG II.4 : Position d'un point du repère lié à l'organe terminal [1].

b) Il existe différentes possibilités pour définir l'orientation de l'organe terminal :

- Les angles d'Euler.
- D'autres types d'angles (Bryant, ...).
- Les *cosinus* directeurs. Leur utilisation revient à considérer l'ensemble des projections des vecteurs unités portés par les axes du repère R_1 sur les axes du repère R_0 (repères orthonormés).

Il en résulte :

3 X 3 paramètres, en effet :

- 6 relations sont nécessaires pour indiquer que la base est orthonormée (3 pour indiquer des normes unitaires + 3 pour indiquer l'orthogonalité de la base).
- et 3 paramètres pour décrire l'orientation du repère.

II.3.3 Construction des cosinus directeurs

On s'intéresse à l'orientation du repère R_1 par rapport au repère R_0 . Le vecteur de base \vec{x}_1 de la base R_1 s'exprime dans la base R_0 par la relation : $\vec{x}_1 = a_{11}\vec{x}_0 + a_{21}\vec{y}_0 + a_{31}\vec{z}_0$, le vecteur $(a_{11} \ a_{21} \ a_{31})^t$ représente le vecteur unitaire \vec{x}_1 (du repère R_1) suivant les axes $\vec{x}_0, \vec{y}_0, \vec{z}_0$ (du repère R_0). De même, les vecteurs \vec{y}_1 et \vec{z}_1 s'expriment dans la base R_0 par les relations :

$y_1 = a_{12}\vec{x}_0 + a_{22}\vec{y}_0 + a_{32}\vec{z}_0$ et $z_1 = a_{13}\vec{x}_0 + a_{23}\vec{y}_0 + a_{33}\vec{z}_0$, On aboutit alors à la matrice de rotation suivante :

$$\begin{matrix} \vec{x}_0 \\ \vec{y}_0 \\ \vec{z}_0 \end{matrix} \begin{pmatrix} \vec{x}_1 & \vec{y}_1 & \vec{z}_1 \\ a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{pmatrix}. \text{ Cette matrice de rotation vérifie 6 relations parmi les 9 paramètres (à savoir,}$$

$$\begin{aligned} ||\vec{x}_1|| &= ||\vec{y}_1|| = ||\vec{z}_1|| = 1 \\ \vec{x}_1 \cdot \vec{y}_1 &= \vec{x}_1 \cdot \vec{z}_1 = \vec{y}_1 \cdot \vec{z}_1 = 0 \end{aligned}$$

II.4 Translation et rotation

On peut montrer que la situation (position et orientation) du repère de base R_1 se déduit de celle du repère de base par une translation et une rotation.

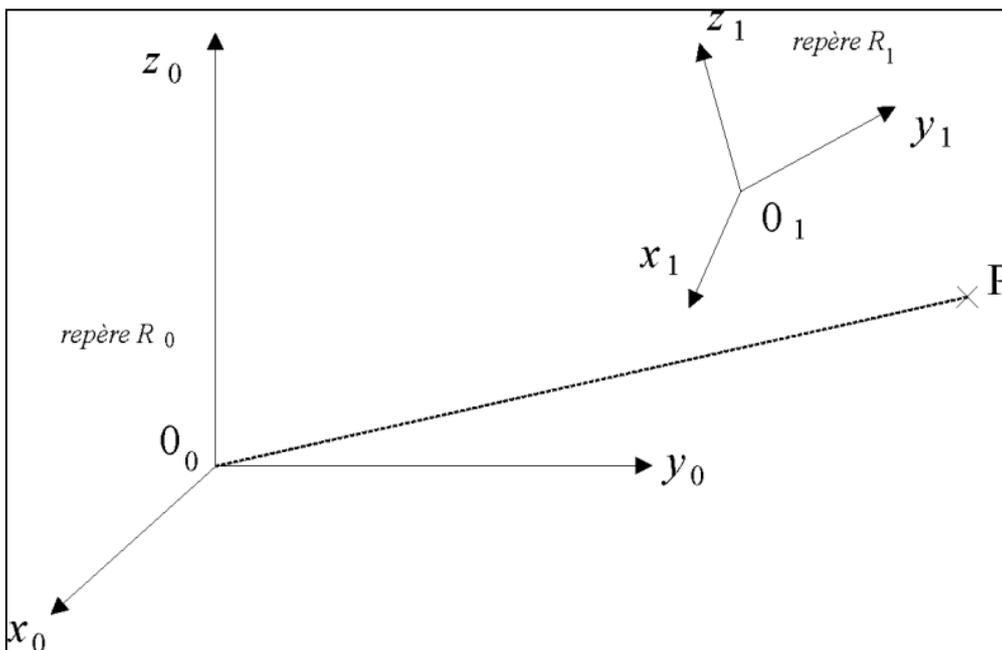


FIG II.5 Translation et rotation d'un point P [1].

Le but est d'exprimer dans le repère de base R_0 les coordonnées du point P ayant pour coordonnées $(X_1 \ Y_1 \ Z_1)$ dans le repère de base R_1 (c'est-à-dire, $\overrightarrow{O_1P/1} = (X_1 \ Y_1 \ Z_1)^t$), sachant que l'origine du repère R_1 , c'est-à-dire O_1 , a pour coordonnées (a,b,c) dans le repère R_0 .

$$\text{On a : } \overrightarrow{O_1P/1} = \begin{pmatrix} X_1 \\ Y_1 \\ Z_1 \end{pmatrix}, \text{ c'est à dire, } \overrightarrow{O_1P} = X_1 \vec{x}_1 + Y_1 \vec{y}_1 + Z_1 \vec{z}_1$$

$$\begin{aligned} \text{On a : } \overrightarrow{O_0P/0} &= \overrightarrow{O_0O_1/0} + \overrightarrow{O_1P/0} \\ &= \overrightarrow{O_0O_1/0} + R_{01} \cdot \overrightarrow{O_1P/0} \\ &= \begin{pmatrix} a \\ b \\ c \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} X_1 \\ Y_1 \\ Z_1 \end{pmatrix} \end{aligned}$$

La matrice de rotation, notée R_{01} , $\begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{pmatrix}$ contient les vecteurs de base de R_1 , c'est-à-dire $\vec{x}_1, \vec{y}_1, \vec{z}_1$, exprimés dans la base R_0 , c'est-à-dire en fonction des vecteurs $\vec{x}_0, \vec{y}_0, \vec{z}_0$.

Par exemple, la position du repère de base pourra se déduire de celle du repère de base R_0 à travers :

- une translation $\overrightarrow{O_0O_1}$.
 - des rotations autour des 3 axes $(\vec{x}_0, \vec{y}_0, \vec{z}_0)$ du repère R_0 , auxquelles on peut associer respectivement les matrices élémentaires de rotations suivantes : $R_{01}(x_0, \theta_{x0})$, $R_{01}(y_0, \theta_{y0})$ et $R_{01}(z_0, \theta_{z0})$
- Définies plus loin dans cette section. On a alors : $R_{01} = (x_0, \theta_{x0}) \times (y_0, \theta_{y0}) \times (z_0, \theta_{z0})$

➤ *Cas d'une simple translation*

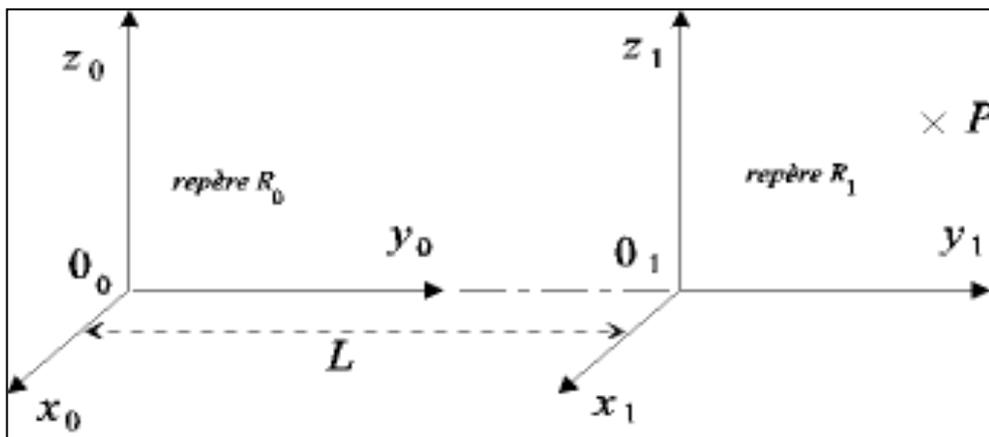


FIG II.6 : Cas d'une simple translation [1].

$$\begin{aligned} \vec{O_0P_0} &= \vec{O_0O_{1/0}} + \vec{O_1P_0} \\ &= \begin{pmatrix} 0 \\ l \\ 0 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} X_1 \\ Y_2 \\ Z_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} X_1 \\ l + Y_2 \\ Z_3 \end{pmatrix} \end{aligned}$$

La matrice (vecteur) de translation opère selon l'axe \vec{y}_0 .
 La matrice de rotation (d'angle nul) est telle que : $\vec{x}_1 = \vec{x}_0$, $\vec{y}_1 = \vec{y}_0$, $\vec{z}_1 = \vec{z}_0$

➤ *Cas particulier d'une rotation autour d'un axe*

Par convention, on considère que l'articulation rotoïde d'un robot se fait autour d'un des 3 axes d'un repère orthonormé. Soit, par exemple, une rotation d'angle θ_{x_0} autour de l'axe \vec{x}_0 , comme indiqué ci-dessous.

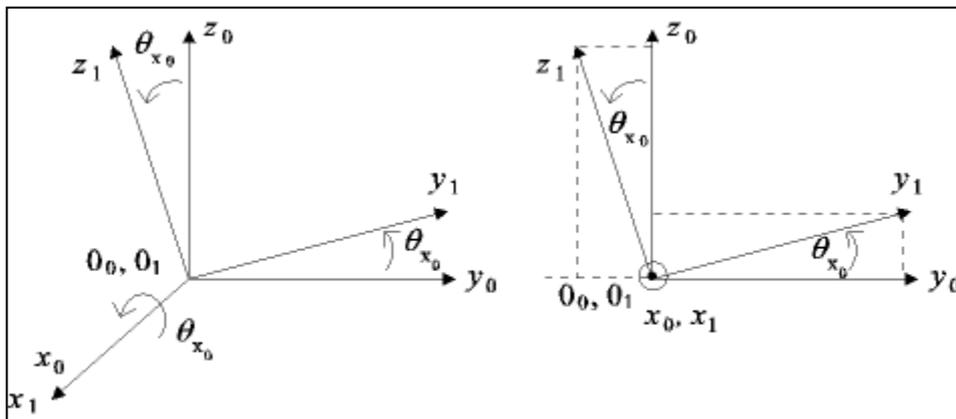


FIG II.7 : Cas particulier d'une rotation autour d'un axe [1].

$$R_{01}(x_0, \theta_{x_0}) = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos(\theta_{x_0}) & -\sin(\theta_{x_0}) \\ 0 & \sin(\theta_{x_0}) & \cos(\theta_{x_0}) \end{pmatrix}$$

Soient $\vec{x}_1 = \vec{x}_0$, $\vec{y}_1 = \cos(\theta_{x_0})\vec{y}_0 + \sin(\theta_{x_0})\vec{z}_0$, $\vec{z}_1 = -\sin(\theta_{x_0})\vec{y}_0 + \cos(\theta_{x_0})\vec{z}_0$

Remarque : On a $\|\vec{x}_1\| = \|\vec{y}_1\| = \|\vec{z}_1\| = 1$, $\vec{x}_1 \cdot \vec{y}_1 = \vec{x}_1 \cdot \vec{z}_1 = \vec{y}_1 \cdot \vec{z}_1 = 0$

➤ *Exemple d'une translation et d'une rotation autour de l'axe*

Exprimons dans le repère R_0 les coordonnées (x_1, y_1, z_1) du point P dans le repère R_1 , sachant que l'origine O_1 du repère R_1 a pour coordonnées (a, b, c) dans le repère R_0 .

$$\begin{aligned} \overrightarrow{O_0P_0} &= \overrightarrow{O_0O_{1/0}} + \overrightarrow{O_1P_0} \\ &= \overrightarrow{O_0O_{1/0}} + R_{01}(x_0, \theta_{x_0}) \cdot \overrightarrow{O_1P_1} \\ &= \begin{pmatrix} a \\ b \\ c \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos(\theta_{x_0}) & -\sin(\theta_{x_0}) \\ 0 & \sin(\theta_{x_0}) & \cos(\theta_{x_0}) \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} X_1 \\ Y_1 \\ Z_1 \end{pmatrix} \\ &= \begin{pmatrix} a + X_1 \\ b + \cos(\theta_{x_0})Y_1 - \sin(\theta_{x_0})Z_1 \\ c + \sin(\theta_{x_0})Y_1 + \cos(\theta_{x_0})Z_1 \end{pmatrix} \end{aligned}$$

Remarque :

- Le produit de matrice de rotation n'est pas toujours commutatif : $R_{12} R_{23} \neq R_{23} R_{12}$.
- L'inverse de R_{12} est donné par R_{12}^t : $R_{12}^{-1} = R_{12}^t = R_{12}^t$ (i.e., R_{12} est une matrice orthogonale).

- La combinaison de translation est commutative :

Translation(x,a) Translation(y,b) = Translation(y,b) Translation(x,a), l'inversion est obtenue par simple changement de signe : $(\text{Translation}(x,a))^{-1} = \text{Translation}(x,-a)$.

II.5 Matrice de transformation homogène

La présence conjointe de produits et de sommes dans l'équation vectorielle $\overrightarrow{O_0P_0} = \overrightarrow{O_0O_{1/0}} + R_{01} \cdot \overrightarrow{O_1P_0}$

Est peu commode pour effectuer des calculs systématiques, dus par exemple à des changements successifs de repères. On lui préfère une représentation matricielle de dimension 4, basée sur les coordonnées homogènes.

La représentation en coordonnées homogènes consiste à doter toute notation vectorielle d'un facteur d'échelle en introduisant une coordonnée supplémentaire. Soit par exemple, un point M de l'espace, rapporté à trois axes rectangulaires, donné par la relation :

$$\overrightarrow{OM} = \begin{pmatrix} a \\ b \\ c \end{pmatrix}$$

Alors la représentation du point M à l'aide de coordonnées homogènes est faite avec un quaternion, i.e.,

$$\overrightarrow{OM} = \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \\ w \end{pmatrix} \text{ avec } a = \frac{x}{w}, b = \frac{y}{w}, c = \frac{z}{w}$$

Soit la matrice de transformation homogène T_{01} correspondant à la matrice partitionnée suivante :

$$T_{01} = \begin{pmatrix} R_{01(3,3)} & T_{01(3,1)} \\ 000 & 1 \end{pmatrix}$$

↖ Rotation
 ↖ Translation

Remarquons que le facteur d'échelle est unitaire ($w=1$).

La matrice T_{01} représente la transformation permettant de passer du repère R_1 au repère R_0 .

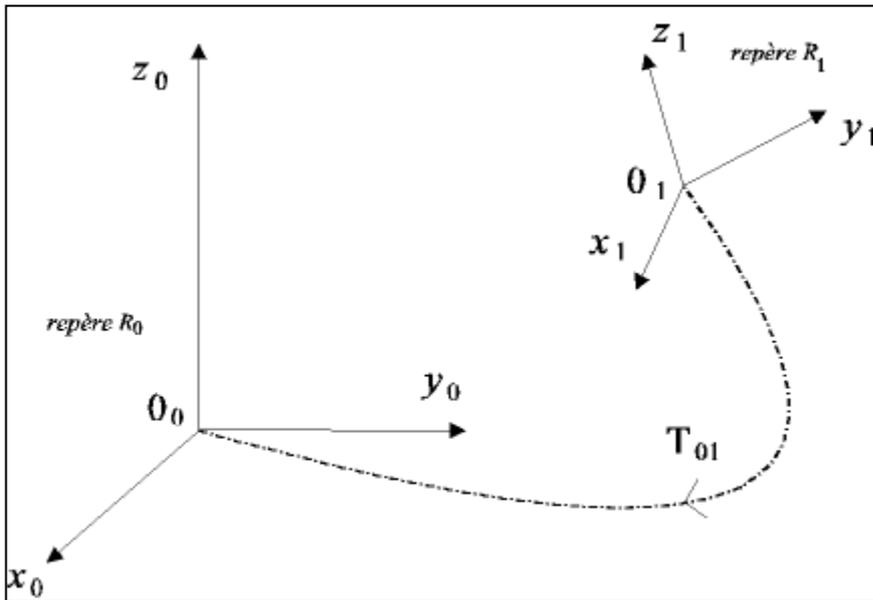


FIG II.8 : la transformation permettant de passer du repère R_1 au repère R_0 [1].

En effet, elle permet d'exprimer dans le repère R_0 les coordonnées d'un vecteur exprimées dans le repère R_1 . Autrement dit, on a :

$$\begin{pmatrix} X_0 \\ Y_0 \\ Z_0 \\ 1 \end{pmatrix} = T_{01} \begin{pmatrix} X_1 \\ Y_1 \\ Z_1 \\ 1 \end{pmatrix}$$

➤ *Cas de transformations homogènes*

- D'une simple translation

On note $\text{Trans}(x_0, a)$ la matrice de transformation homogène correspondant à une translation de a selon l'axe x_0 . Considérons l'exemple suivant :

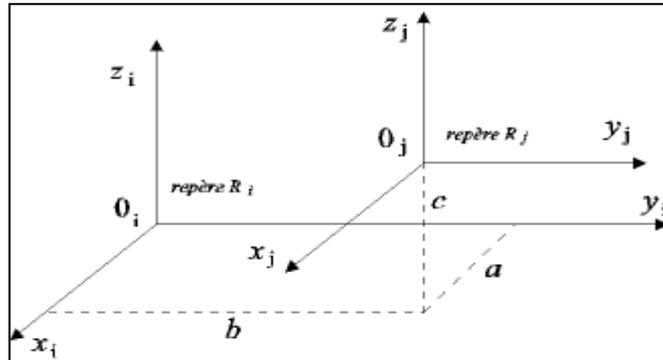


FIG II.9 : Cas de transformations homogènes [1].

$$\text{On a : } T_{ij} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & a \\ 0 & 1 & 0 & b \\ 0 & 0 & 1 & c \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

On a : $\text{Trans}(x_i, a)$. $\text{Trans}(y_i, b)$. $\text{Trans}(z_i, c)$

$$= \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & a \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & b \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & c \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

Soit (x, y, z) les coordonnées d'un point M dans le repère R_j (c'est-à-dire, $\overrightarrow{O_j M_j} = \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix}$), alors les

$$\text{coordonnées du point } M \text{ dans le repère } R_i \text{ sont : } T_{ij} \times M_j = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & a \\ 0 & 1 & 0 & b \\ 0 & 0 & 1 & c \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x + a \\ y + b \\ z + c \\ 1 \end{pmatrix}.$$

- D'une simple rotation

On note $\text{Rot}(x_0, \theta)$ la matrice de rotation d'un angle θ autour de l'axe \vec{x}_0 . Considérons l'exemple suivant :

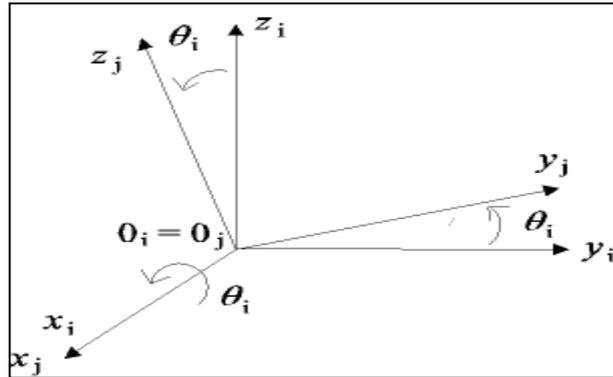


FIG II.10 : rotation simple d'un angle θ autour de l'axe x_0 [1].

$$\text{On a: } T_{ij} = \text{Rot}(x_i, \theta_i) = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos(\theta_i) & -\sin(\theta_i) & 0 \\ 0 & \sin(\theta_i) & \cos(\theta_i) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} R_{ij}(x_i, \theta_i) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

Soit (x, y, z) les coordonnées d'un point M dans le repère R_j , alors les coordonnées du point M

$$\text{Dans le repère } R_j \text{ sont : } T_{ij} M_{ij} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos(\theta_i) & -\sin(\theta_i) & 0 \\ 0 & \sin(\theta_i) & \cos(\theta_i) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x \\ \cos(\theta_i)y - \sin(\theta_i)z \\ \sin(\theta_i)y + \cos(\theta_i)z \\ 1 \end{pmatrix}$$

Une matrice de transformation peut se décomposer en 2 matrices de transformation :

$$T_{01} = \begin{pmatrix} A_{(3,3)} & T_{(3,1)} \\ 000 & 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} I & T_{(3,1)} \\ 000 & 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} A_{(3,3)} & 0 \\ 000 & 1 \end{pmatrix}$$

Translation Rotation

Remarque : Le produit de matrices de transformation homogène n'est pas commutatif, du fait de la non commutativité de la rotation.

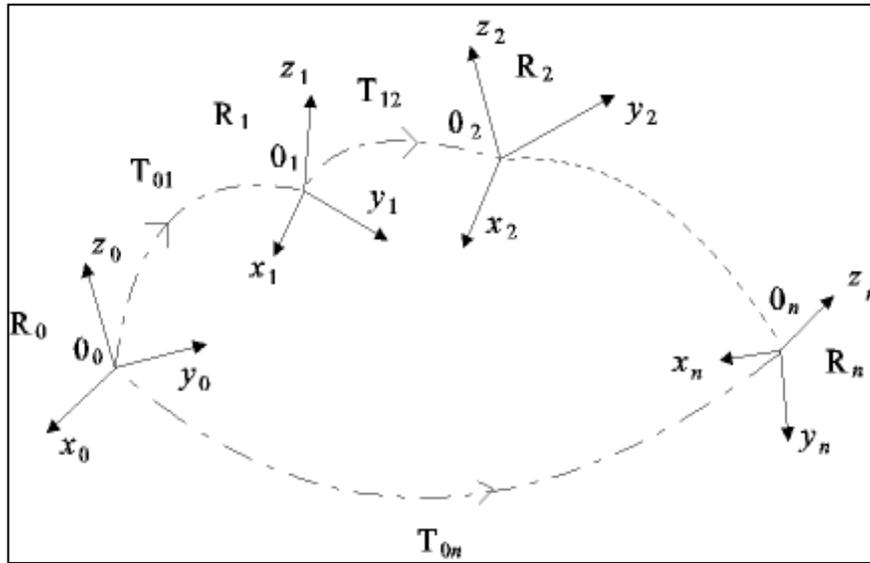


FIG II.11 : transformation homogène [1].

On a : $T_{0n} = T_{01} \times T_{12} \times \dots \times T_{n-1,n}$

Soit $\vec{O_n M_n} = \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{pmatrix}$, alors $T_{0n} \times \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{pmatrix}$ exprime les coordonnées du point M dans le repère R_0 (c'est-à-dire, $\vec{O_0 M_0} = T_{0n} \times \vec{O_n M_n}$)

II.6 Obtention du modèle géométrique direct

On s'intéresse à la relation liant l'espace articulaire associé aux différentes liaisons du robot avec l'espace opérationnel dans lequel est définie la situation de l'organe terminal. Cette relation s'exprime à l'aide de l'équation suivante :

$$X=f(q)$$

La méthode proposée utilise les matrices de transformation homogène. On associe un repère à chaque solide du robot, en commençant par le socle. Si une articulation a plusieurs degrés de liberté (d.d.l.), on introduit des solides fictifs (de masse et de longueur nulles). La situation de l'organe terminal par rapport au socle correspond au produit des matrices de transformation homogène des différents repères associés au solide du robot. Notons que l'écriture des matrices de transformation homogène n'est pas unique (il existe une infinité de façon de lier une repère à un solide) [1].

II.7 Angles d'Euler classiques

Les angles d'Euler classiques permettent de décrire l'orientation d'un solide par trois rotations successives donnant au solide l'orientation en question. Les rotations successives, conformément à la FIG II.12, sont $R(z, \psi)$, $R(x_\psi, \theta)$ et enfin $R(z_\theta, \varphi)$ ou x_ψ et z_θ sont déduits des vecteurs du repère de base conformément à la FIG II.12. Les ψ , θ et φ sont connus respectivement sous les termes de précession, nutation et rotation propre. Chaque nouvelle rotation étant effectuée par rapport à un repère ayant tourné :

$$R = R(z, \psi) R(x_\psi, \theta) R(z_\theta, \varphi).$$

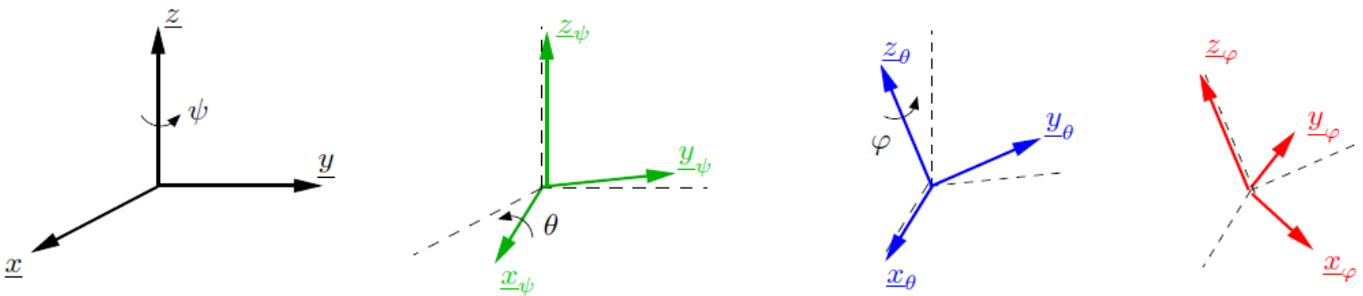


FIG II.12 : Rotations successives dans le paramétrage par les angles d'Euler [17].

Sous forme développée :

$$R = \begin{pmatrix} \cos \psi & -\sin \psi & 0 \\ \sin \psi & \cos \psi & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \theta & -\sin \theta \\ 0 & \sin \theta & \cos \theta \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos \varphi & -\sin \varphi & 0 \\ \sin \varphi & \cos \varphi & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

soit finalement :

$$R = \begin{pmatrix} \cos \psi \cos \varphi - \sin \psi \cos \theta \sin \varphi & -\cos \psi \sin \varphi - \sin \psi \cos \theta \cos \varphi & \sin \psi \sin \theta \\ \sin \psi \cos \varphi + \cos \psi \cos \theta \sin \varphi & -\sin \psi \sin \varphi + \cos \psi \cos \theta \cos \varphi & -\cos \psi \sin \theta \\ \sin \theta \sin \varphi & \sin \theta \cos \varphi & \cos \theta \end{pmatrix}$$

La transformation inverse permet d'établir les angles d'Euler à partir des cosinus directeurs :

❖ si $Z_z \neq \pm 1$:

$$\psi = \arctan^2(Z_x, -Z_y),$$

$$\theta = \arccos Z_z,$$

$$\varphi = \arctan^2(X_z, Y_z).$$

❖ si $Z_z = \pm 1$:

$$\theta = \pi (1 - Z_z) / 2,$$

$$\psi + Z_z \varphi = \arctan^2(Y_x, X_x),$$

et donc ψ et φ sont indéterminés.

II.8 Angles roulis, tangage et lacet

Pour cette représentation, la littérature donne de nombreuses définitions [Paul 81, Craig 89, Khalil 99, Renaud 86]. Ces angles, très utilisés par les anglo-saxons et donc par les industriels, portent les noms de roll, pitch et yaw en anglais. Il s'agit en fait d'angles d'Euler non classiques en cela que les rotations s'effectuent autour d'axes fixes. Nous adoptons la définition de [Craig 89] : les rotations successives, conformément à la FIG II.13, sont $R(x, \gamma)$, $R(y, \beta)$, puis $R(z, \alpha)$. Les angles γ , β et α sont respectivement désignés sous les noms d'angles de roulis, tangage et lacet.

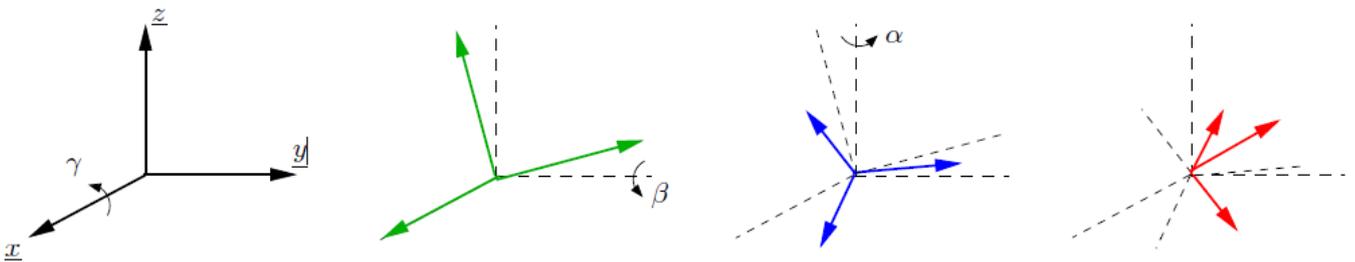


FIG II.13 : Rotations successives dans le paramétrage par les angles de roulis, tangage et lacet [17].

Chaque nouvelle rotation étant effectuée par rapport à un axe du repère fixe R :

$$R = R(Z, \alpha) R(Y, \beta) R(X, \gamma)$$

Sous forme développée :

$$R = \begin{pmatrix} \cos \alpha & -\sin \alpha & 0 \\ \sin \alpha & \cos \alpha & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos \beta & 0 & \sin \beta \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin \beta & 0 & \cos \beta \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \gamma & -\sin \gamma \\ 0 & \sin \gamma & \cos \gamma \end{pmatrix}$$

soit finalement :

$$R = \begin{pmatrix} \cos \alpha \cos \beta & -\sin \alpha \cos \gamma + \cos \alpha \sin \beta \sin \gamma & \sin \alpha \sin \gamma + \cos \alpha \sin \beta \cos \gamma \\ \sin \alpha \cos \beta & \cos \alpha \cos \gamma + \sin \alpha \sin \beta \sin \gamma & -\cos \alpha \cos \gamma + \sin \alpha \sin \beta \cos \gamma \\ -\sin \beta & \cos \beta \sin \gamma & \cos \beta \cos \gamma \end{pmatrix}$$

La transformation inverse permet d'établir les angles de roulis, tangage et lacet à partir des cosinus directeurs :

❖ si $\beta \neq \pm \frac{\pi}{2}$:

$$\alpha = \arctan^2 (X_y, X_x),$$

$$\beta = \arctan^2 (-X_z, \sqrt{X_x^2 + X_y^2}),$$

$$\gamma = \arctan^2 (Y_z, Z_z).$$

❖ si $\beta = \pm \frac{\pi}{2}$:

$$\alpha - \text{signe}(\beta) \gamma = \arctan^2 (Z_y, Z_x),$$

(ou $\alpha - \text{signe}(\beta) \gamma = -\arctan^2 (Y_x, Y_y)$) équivalent... normalement

Et danc α et γ sont indéterminés.

II.9 Modélisation géométrique

II.9.1 Description géométrique

La modélisation des robots de façon systématique et automatique exige une méthode adéquate pour la description de leur morphologie. Plusieurs méthodes et notations ont été proposées. La plus répandue est celle de Denavit-Hartenberg. Dans les années 1950s, les messieurs Jacques Denavit and Richard Hartenberg ont eu l'excellente idée de proposer une méthode simple et systématique pour placer des référentiels sur chaque lien d'un mécanisme sériel qui facilite énormément le calcul des matrices de transformation homogène [18].

II.9.2 Méthode de Denavit-Hartenberg

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

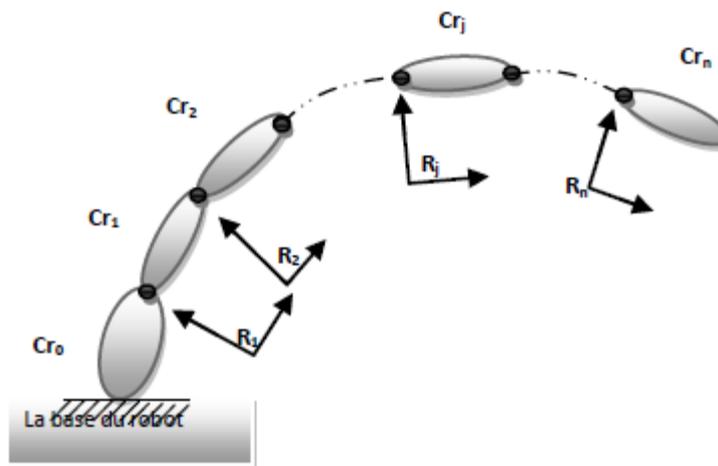


FIG II.14 : Robot à structure ouverte simple [18].

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

- les corps sont supposés parfaitement rigides. Ils sont connectés par des articulations considérées comme idéales (pas de jeu mécanique, pas d'élasticité), soit rotoïdes, soit prismatiques ;
- le repère F_i est lié au corps C_i ;
- l'axe Z_{i-1} est porté par l'axe de l'articulation i ;
- l'axe X_i est porté par la perpendiculaire commune aux axes Z_i et Z_{i+1} . Si les axes Z_i et Z_{i+1} sont parallèles ou colinéaires, le choix de X_i n'est pas unique : des considérations de symétrie ou de simplicité permettent alors un choix rationnel [18].

II.9.3 Les paramètres de Denavit-Hartenberg

Le passage du repère F_{i-1} au repère F_i s'exprime en fonction des quatre paramètres géométriques suivants FIG II.15:

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

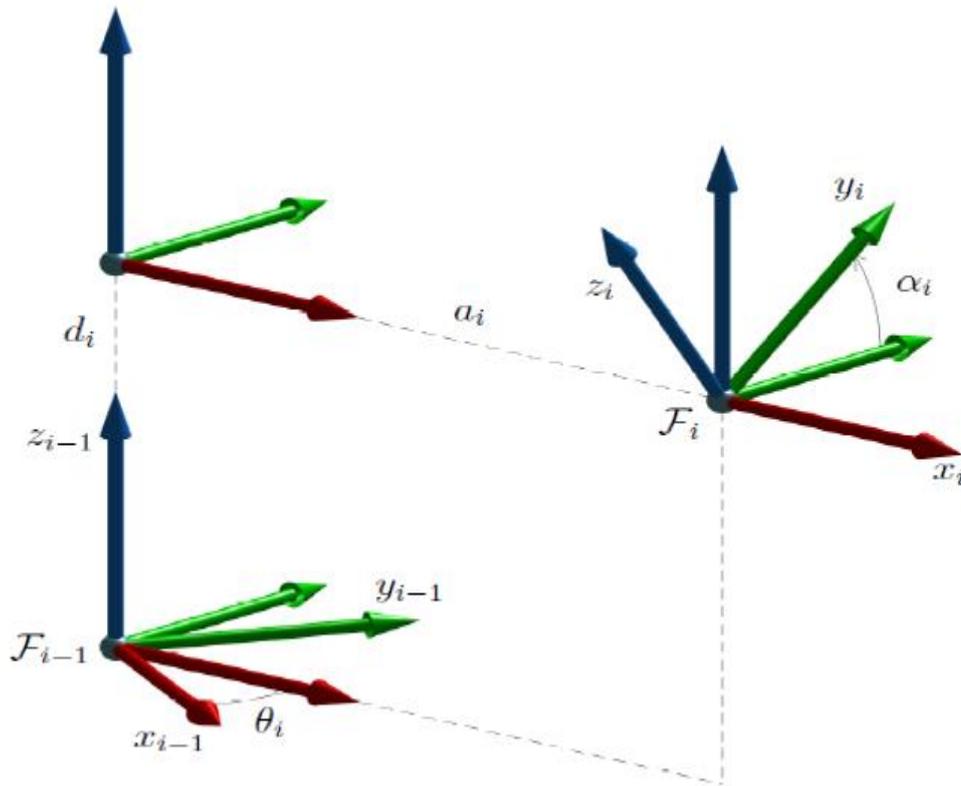


FIG II.15 : Paramètres géométriques dans le cas d'une structure ouverte simple [18].

La matrice de transformation définissant le repère F_i dans le repère F_{est} donnée par (FIG II.15) :

$$T_i^{i-1} = \text{Rot}(z, \theta_i) \text{Trans}(0,0,d_i) \text{Rot}(X, \alpha_i) \text{Trans}(a_i,0,0)$$

$$\begin{pmatrix} \cos\theta_1 & -\sin\theta_1 & 0 & 0 \\ \sin\theta_1 & \cos\theta_1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & d_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\alpha_1 & -\sin\alpha_1 & 0 \\ 0 & \sin\alpha_1 & \cos\alpha_1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & a_1 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$$T_i^{i-1} = \begin{pmatrix} \cos\theta_1 & -\cos\alpha_1 \sin\theta_1 & \sin\alpha_1 \sin\theta_1 & a_1 \cos\theta_1 \\ \sin\theta_1 & \cos\alpha_1 \cos\theta_1 & -\sin\alpha_1 \cos\theta_1 & a_1 \sin\theta_1 \\ 0 & \sin\alpha_1 & \cos\alpha_1 & d_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

II.10 Modèle géométrique direct

II.10.1 Définition

Le modèle géométrique direct (MGD) est l'ensemble des relations qui permettent d'exprimer la situation de l'organe terminal, c'est-à-dire les coordonnées opérationnelles du robot, en fonction de ses coordonnées articulaires. Dans le cas d'une chaîne ouverte simple, il peut être représenté par la matrice de transformation T_n^0

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

II.11 Conclusion

Pour modéliser un robot sériel à n articulations, il faut représenter le comportement de ce robot sous la forme d'un modèle, une telle démarche s'appelle la modélisation, d'une manière générale, on recherche toujours le modèle le plus simple qui permet d'expliquer, de manière satisfaisante, le comportement du processus dans son domaine d'application; les modèles de transformation entre l'espace opérationnel et l'espace articulaire.

On distingue :

- ❖ Les modèles géométriques qui expriment la situation de l'organe terminal en fonction de la configuration du mécanisme.
- ❖ Pour développer ce modèle il faut suivre une méthode systématique. Il s'agit de la méthode Denavit-Hartenberg qui reste toujours la méthode de long temps la plus utilisée en robotique sérielle.

On peut considérer qu'après étude des méthodes de calcul de la portée par la méthode 3×3 et la méthode 4×4 et celle de Denavit et Hartenberg on constate l'homogénéité et la simplicité dans le calcul des produits des matrices ce qui nous amène à faire notre choix sur la méthode de Denavit et Hartenberg dans nos prochains calculs.

CHAPITRE III

**Présentation des types de
Robot et du logiciel RoboDK**

III.1 Introduction

Dans ce chapitre on présente deux types de Robot : Robot TX90 et TA1600 et connaître toutes les caractéristiques géométriques ainsi ces avantages et nous donne un aperçu sur logiciel RoboDK.

III.2 Présentation du robot TX 90

Le robot TX 90 est un bras articulé avec 6 degrés de liberté lui conférant une flexibilité accrue. L'enveloppe de travail sphérique permet d'exploiter au maximum l'espace de travail à l'intérieur de la cellule. De plus, il peut être monté en version sol, mur ou plafond. La structure entièrement capotée du bras (IP65) permet au robot d'évoluer dans toutes les ambiances, même les plus difficiles [19].

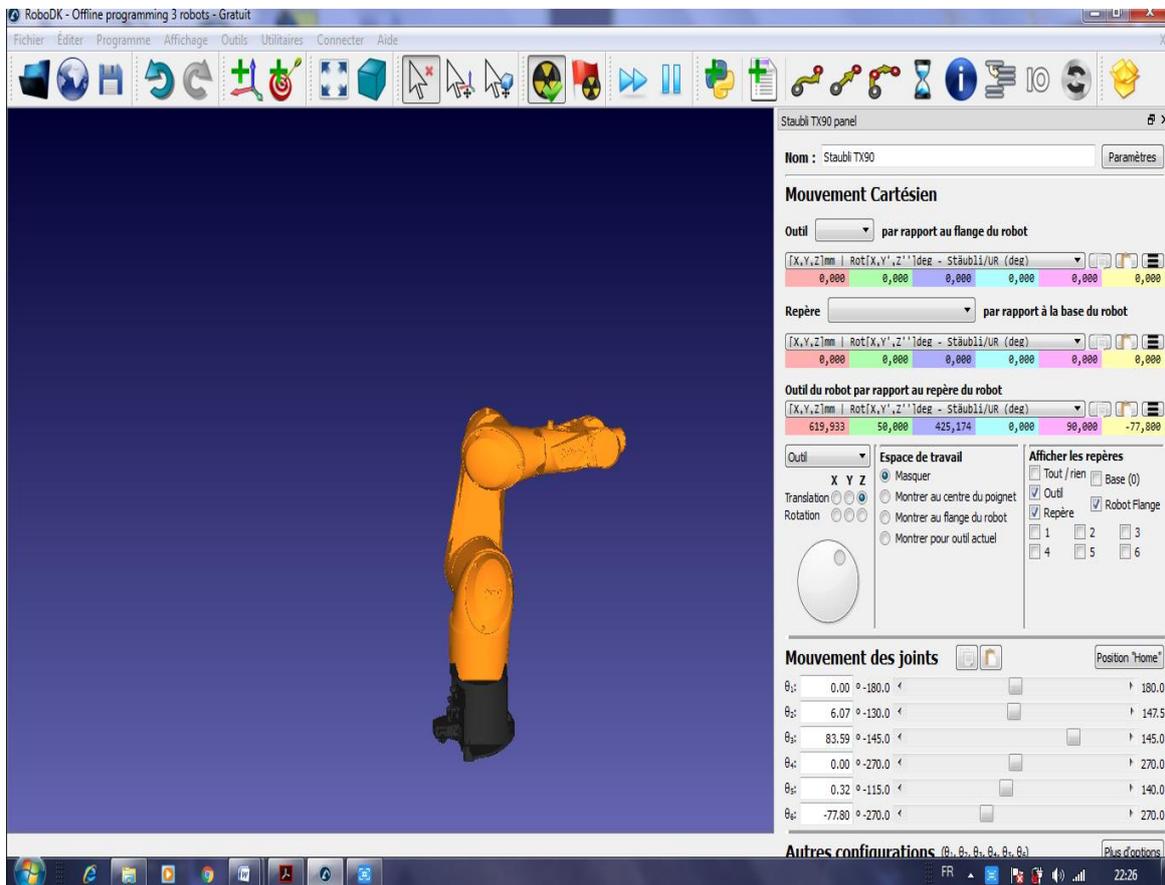


FIG III.1 : Robot TX90 Stäubli [19].

III.2.1 Stäubli International AG

Le groupe, fondé en 1892 à Horgen sous le nom de Schelling & Stäubli¹, est aujourd'hui basé à Pfäffikon, en Suisse.

La société suisse s'installe en 1909 en France, dans le bassin industriel de Faverges, à proximité du lac d'Annecy en Haute-Savoie².

Fort de ses 4500 collaborateurs, Stäubli est présent dans 25 pays (filiales commerciales, SAV, PR) et a un réseau de distribution dans 50 pays. Il comprend douze centres industriels, dont deux sites importants en France à Faverges (robot, textile et raccord), et Chassieu, puis en Allemagne, Suisse, Italie, États-Unis et Chine.

Le groupe s'est encore agrandi ces dernières années par le rachat en 2007 de la société italienne Deimo, qui conçoit et fabrique des cartes électroniques entre autres pour l'industrie du textile, et du groupe Multi-Contact en 2002, fabricant de connecteurs photovoltaïques et électriques de tous types [19].

III.2.1.1 Une partie de ce que fabriquer Stäubli International



FIGIII.2 : Robot articulé 6 axes pour temps de cycle rapide manutention au sol TX340 SH [19].



FIGIII.3 : Robot articulé 6 axes de Palettisation TX200 [19].



FIGIII.4 : Le robot 6 axes TX2-40 [19].



FIGIII.5 : Robot 6 axes RX160 [19].

III.2.2 Caractéristiques robot TX 90

- Réducteurs Stäubli (Breveté)
- Structure fermée
- Changeur d'outil automatique
- Calibration absolue
- Gestion d'un axe externe
- Flexible

III.2.3 Tout les Avantages robot TX 90

- Conçu et fabriqué par Stäubli, alliant haute précision, rigidité, vitesse et fiabilité ainsi qu'une maintenance réduite
- Protection des moteurs et du faisceau intégrés dans le bras du robot pour un fonctionnement en environnements hostiles (poussière, pulvérisation, lubrifiant, ...etc.).
- Augmentation de la productivité et de flexibilité grâce au changeur d'outil programmable
- Augmentation de la précision des trajectoires ;
- Capacité à piloter un axe externe ;
- Compatible avec une large gamme de broches d'usinage [19].

III.2.4 Principales caractéristiques

Modèle	TX90	TX90L
Charge maximale*	20 kg	15 kg
Charge nominale	7 kg	6 kg
Rayon d'action	1000 mm	1200 mm
Nombre de degrés de liberté	6	6
Répétabilité - ISO 9283	±0,03 mm	±0,035 mm
Classe de protection (*poignet)	IP65 (*67)	IP65 (*67)
Modes de fixation	Sol / Mur / Plafond	Sol / Mur / Plafond
Contrôleur Stäubli série CS8	<u>CS8C</u>	<u>CS8C</u>

FIG III.6 : Tableau comparaison entre Robot TX90 et Robot TX90L [19].

III.2.5 Volume de travail robot TX90

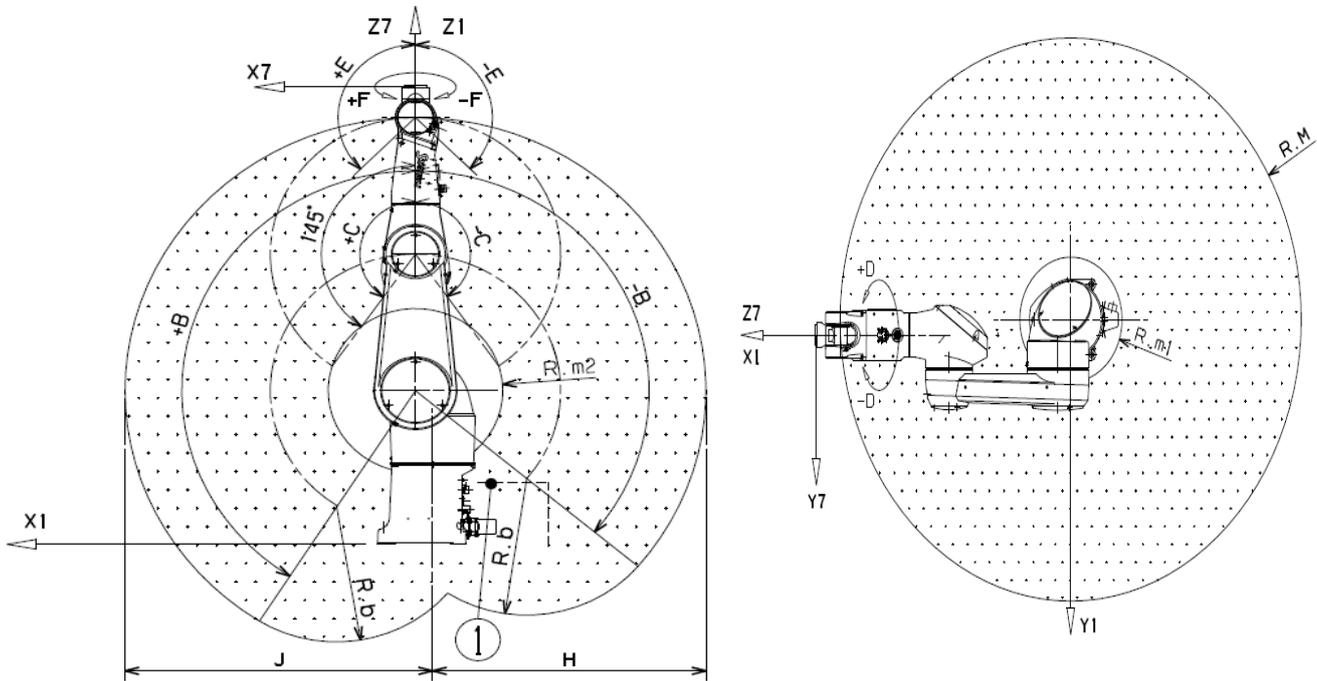


FIG III.7 Volume de travail robot TX90 [19].

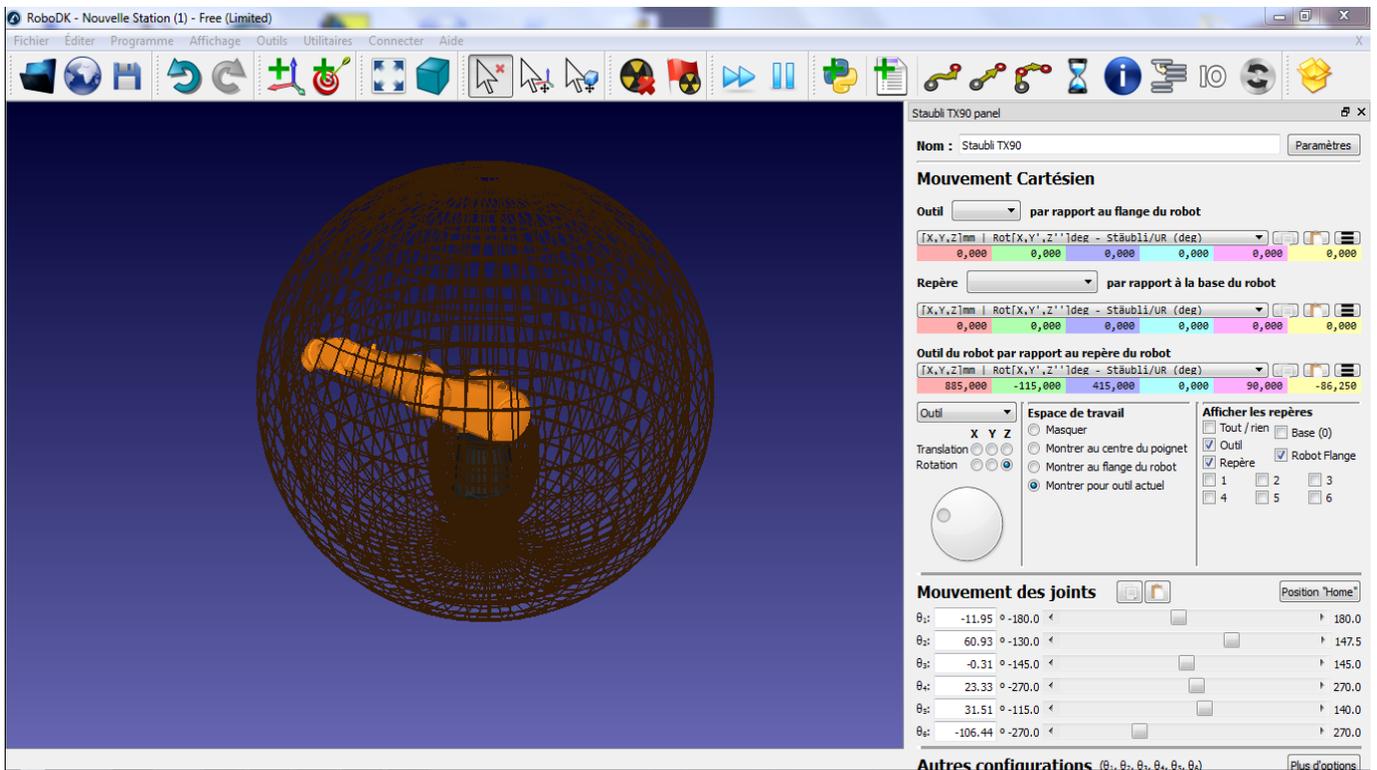


FIG III.8 Volume de travail robot TX90.

III.2.6 Vitesse maximale de chaque axe robot TX90

Vitesse maximale	Axe 1	400°/s
	Axe 2	400°/s
	Axe 3	430°/s
	Axe 4	540°/s
	Axe 5	475°/s
	Axe 6	760°/s

FIG III.9 : Vitesse maximale robot TX90 [19].

III.3 Présentation du robot TA 1600 Panasonic

Robot TA1600 Destinés spécifiquement à des applications de soudage à l'arc, les robots de la série Arc Mate sont le fruit d'années d'expérience en matière de robotique et de soudage.

Avec des charges allant jusqu'à 20 kg et des portées jusqu'à 2,0 m, cette série convient à un large éventail d'applications de soudage à l'arc, de soudage laser, de brasage tendre et de découpe. Différents modèles sont proposés afin de répondre à une grande variété de demandes et, quel que soit le modèle, ces robots sont fournis avec un grand nombre d'outils pour augmenter leur polyvalence et vous permettre d'accroître l'efficacité de vos processus.

Robot TA1600 Destinés spécifiquement à des applications de soudage à l'arc, les robots de la série Arc Mate sont le fruit d'années d'expérience en matière de robotique et de soudage. Avec des charges allant jusqu'à 20 kg et des portées jusqu'à 2,0 m, cette série convient à un large éventail d'applications de soudage à l'arc, de soudage laser, de brasage tendre et de découpe.

Différents modèles sont proposés afin de répondre à une grande variété de demandes et, quel que soit le modèle, ces robots sont fournis avec un grand nombre d'outils pour augmenter leur polyvalence et vous permettre d'accroître l'efficacité de vos processus [20].

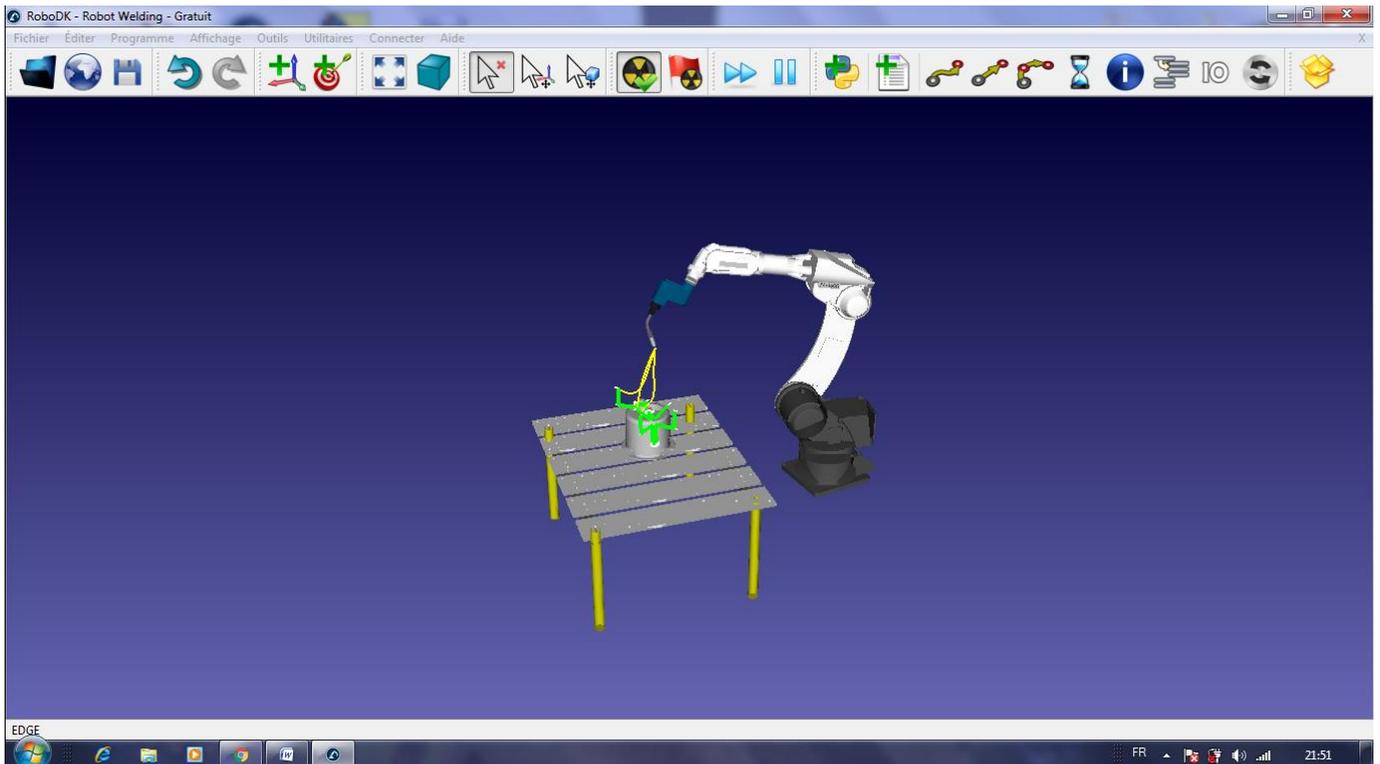


FIG III.10 : Robot TA 1600 Panasonic [20].

III.3.1 Panasonic International

Panasonic Corporation Panasonikku Kabushiki , Anciennement connu sous le nom de Matsushita Electric Industrial Co., Ltd (Matsushita Denki Sangyo Kabushiki) , Est une japonaise multinationale électronique société basée à Kadoma , Osaka , le Japon .

La société a été fondée en 1918 et a grandi pour devenir l'un des plus grands producteurs d'électronique japonais aux côtés de Sony, Hitachi, Toshiba et Canon Inc. . En plus de l'électronique, elle offre des produits et services non électroniques tels que les services de rénovation à domicile. Panasonic est le quatrième plus grand fabricant de téléviseurs au monde d'ici 2012 la part de marché.

Panasonic a une cotation primaire sur la Bourse de Tokyo et est un constituant des Nikkei 225 et TOPIX indices. Il a une cotation secondaire à la Nagoya Bourse.

De 1935 à 1 Octobre 2008, le nom de la société était « Matsushita Electric Industrial» Le 10 Janvier 2008, la société a annoncé qu'elle allait changer son nom de « Panasonic Corporation », en vigueur le 1er Octobre 2008, pour se conformer à son nom de marque mondiale « Panasonic ».Le changement de nom a été approuvé lors d'une assemblée générale des actionnaires le 26 Juin 2008 après consultation avec la famille Matsushita [20].

III.3.1.1 Une partie de ce que fabriquer Panasonic International



FIGIII.11 : Robot de Solda TM1800 Panasonic [20]. FIGIII.12 :Parallel robot delta 6-axis soldering[20].

III.3.2 Tous les avantages robot TA1600

- Temps de marche/arrêt courts (0,2 s).
- SP-Mag (Avantages avec ou sans impulsion).
- Peu d'éclaboussures, faible entrée de chaleur, jusqu'à 200 A).
- Retrait de l'arc au démarrage / à la fin.
- Schéma de câblage optimal.
- Protection anti-collision optimale, ajustable pour chaque étape du programme.
- TA1600, TA1800, TA1900, calibration semi-automatique.
- Surveillance des données de soudage.
- Saisie des données de soudage (en option), disponible via Ethernet, intégré dans le DTPS G2.
- Paramètres de soudage réglables, nombreuses possibilités.
- Correction automatique de longueur de fil libre (hauteur).
- Section de fil très fine après brûlage (pas de formation de bille).
- Bras du Robot très rapide. Le bras le plus rapide actuellement disponible !
- Alimentation en fil par servomoteur, très stable et continuellement sous contrôle.
- Et bien sur, toutes les caractéristiques existantes, redémarrage de l'arc, dépassement, changement de section de soudure, etc.
- Limite RT +/- 170 degrés.
- Aucune torsion du câble de soudage [20].
-

III.3.3 Description du robot

- Ce robot manipulateur (FIG III.13) est conçu en tant que géométrie dotée d'un bras articulé à 6 axes. Ils sont constitués des sous-ensembles principaux suivants:
- - Poignet à arbre creux
- - Bras
- - Epaule
- - Bâti de rotation
- - Embase
- - Installation électrique

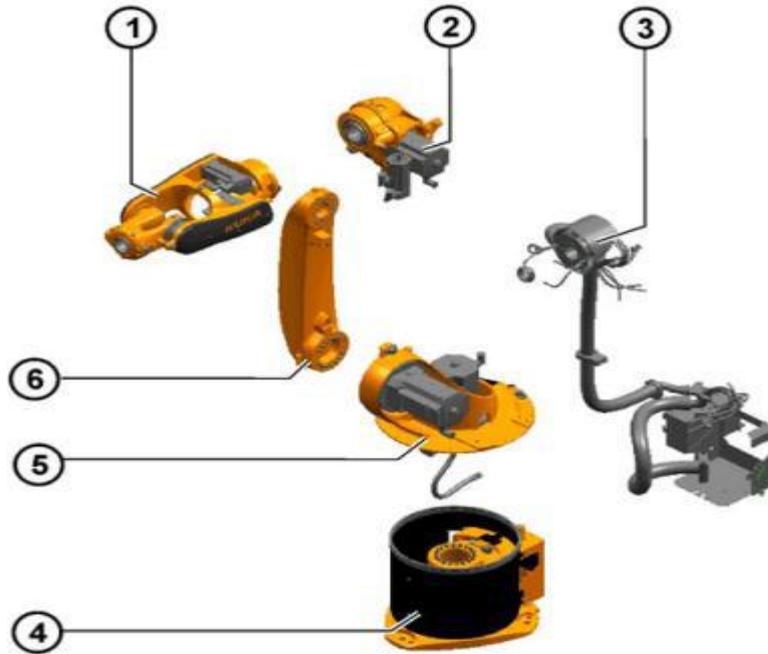


FIG III.13 : Sous-ensembles principaux du bras manipulateur TA 1600 [20] : 1) Poignet à arbre creux 2) Bras; 3) Installation électrique; 4) Embase; 5) Bâti de rotation 6) Epaule.

III.3.3.1 Poignet à arbre creux : Les variantes de robot sont équipées d'un poignet à arbre creux à 2 axes. Le poignet comprend les axes 5 et 6. Les moteurs de l'axe 5 et de l'axe 6 sont compris dans ce sous-ensemble. Les deux axes sont actionnés via de courroies dentées et des réducteurs.

La structure constructive permet l'alimentation en fluides par le centre de l'axe 6, directement vers l'application. Le poignet en ligne dispose d'une bride de fixation pour le montage d'outils.

III.3.3.2 Bras : Le bras relie le poignet à arbre creux à l'épaule. Il loge les moteurs des axes du poignet 3 et 4. L'entraînement du bras se fait par le moteur de l'axe 3. L'angle de rotation maximum autorisé est limité mécaniquement par une butée dans chaque direction, positive et négative. Les tampons correspondants sont montés sur l'épaule. L'ensemble de l'entraînement de l'axe 4 est également intégré dans le bras. En outre, la chaîne porte-câbles pour les axes 5 et 6 du poignet se trouve également sous un recouvrement. Les possibilités de fixation pour l'application de soudage se trouvent sur la face arrière du bras. L'alimentation en fluides pour l'outil est guidée de façon axiale à travers le bras.

III.3.3.3 Epaule: L'épaule est le sous-ensemble logé entre le bâti de rotation et le bras. Elle est composée du corps de l'épaule et des tampons.

III.3.3.4 Bâti de rotation: Le bâti de rotation loge les moteurs A1 et A2 FIG III.14. Le mouvement de rotation de l'axe 1 est exécuté par le bâti de rotation. Il est vissé à l'embase par le réducteur de l'axe 1. L'entraînement est assuré par un moteur dans le bâti de rotation. L'épaule est également logée dans le bâti de rotation.

III.3.3.5 Embase: L'embase est la base du robot. Elle est vissée aux fondations. Le flexible de protection pour l'installation électriques fixé à l'embase. De plus, le logement multifonctions (MFG) et le coffret de raccordement pour le câble de données se trouvent sur l'embase.

III.3.3.6 Installation électrique: L'installation électrique comprend tous les câbles moteurs et de commande des moteurs des axes 1 à 6. Toutes les connexions sont des connecteurs permettant un changement rapide et sûr des moteurs. La boîte RDW et le logement multifonctions MFG font partie de l'installation électrique et sont montés tous les deux à l'embase du robot. Les câbles de liaison venant de la commande du robot sont reliés à ces coffrets de raccordement avec des connecteurs. L'installation électrique comprend également un système de terre. Une chaîne porte-câbles supplémentaire est intégrée dans le bras pour l'alimentation des entraînements des axes de poignet. Elle garantit un guidage de câbles sans pliage sur l'ensemble de la plage de mouvement de l'axe 4 [20].

III.3.4 Caractéristiques des axes

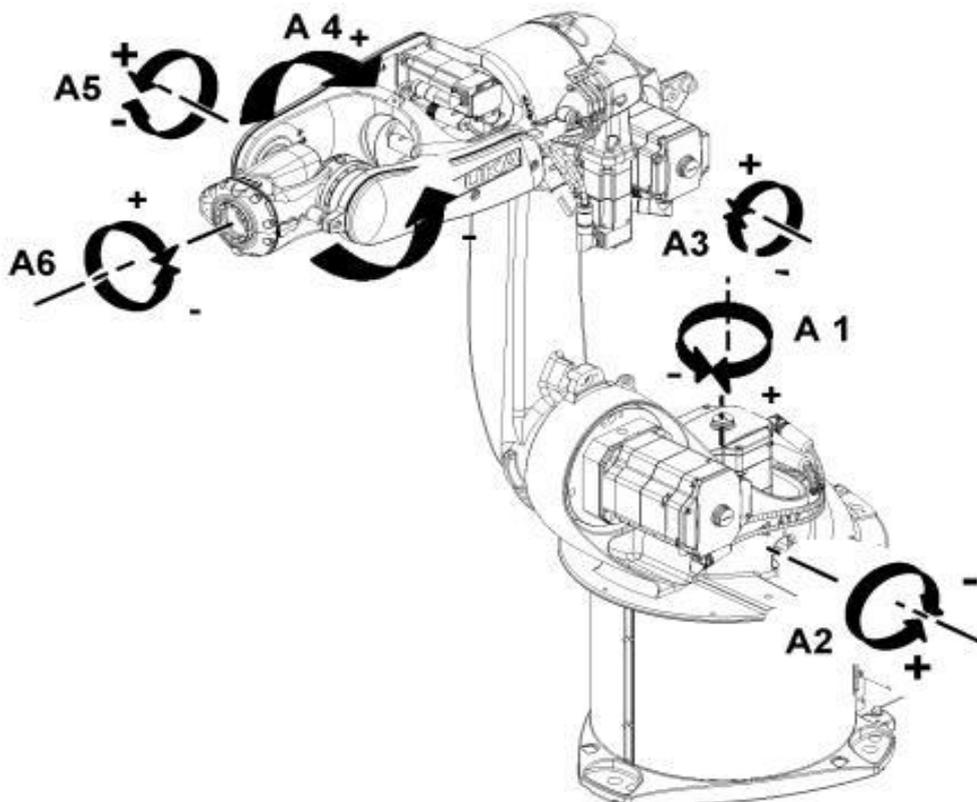


FIG III.14 : Sens de rotation des axes [20].

III.3.5 Caractéristiques techniques

Charge maximum admissible (kg)	8.0
Tension (V)	200
Fréquence (Hz)	50/60
Degré de liberté (axe)	6
Rayon d'activité (mm)	1.598
Vitesse maximum (linéaire, m/sec.)	3.0
Répétabilité (mm)	+/- 0.1
Poids (kg)	180

III.4 modèle géométrique robot TX90

En utilisant le MGD, on peut calculer la position et l'orientation de l'effecteur du robot par rapport au repère R_1 en fonction des coordonnées articulaires (q_1, \dots, q_6) .



FIG III.15 : Robot TX90 [19].

III.5 Caractéristiques géométriques robot TX90

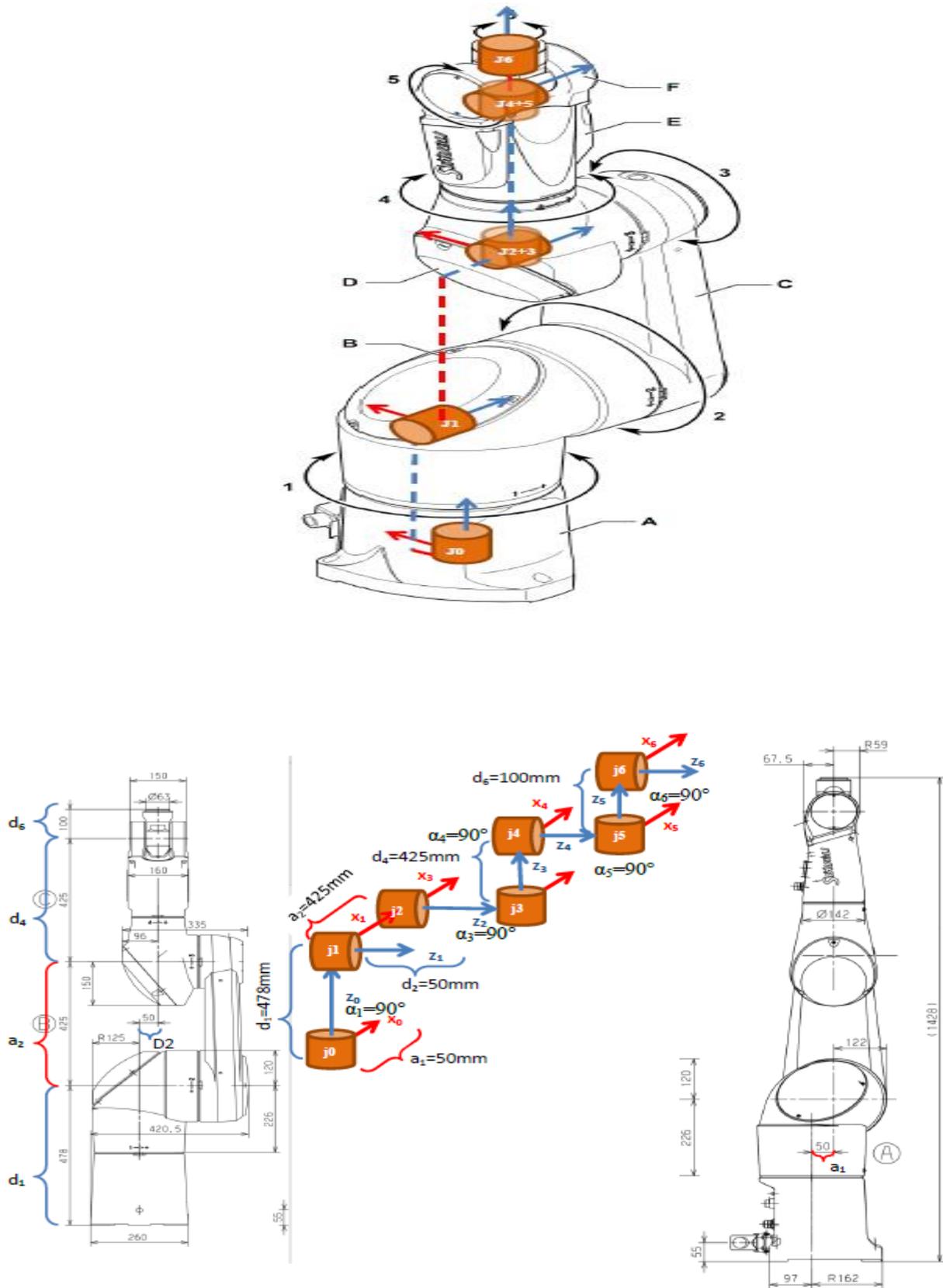


FIG III.16 : Dimensions géométriques du robot TX90 [19].

III.6 Caractéristiques géométriques robot TA1600

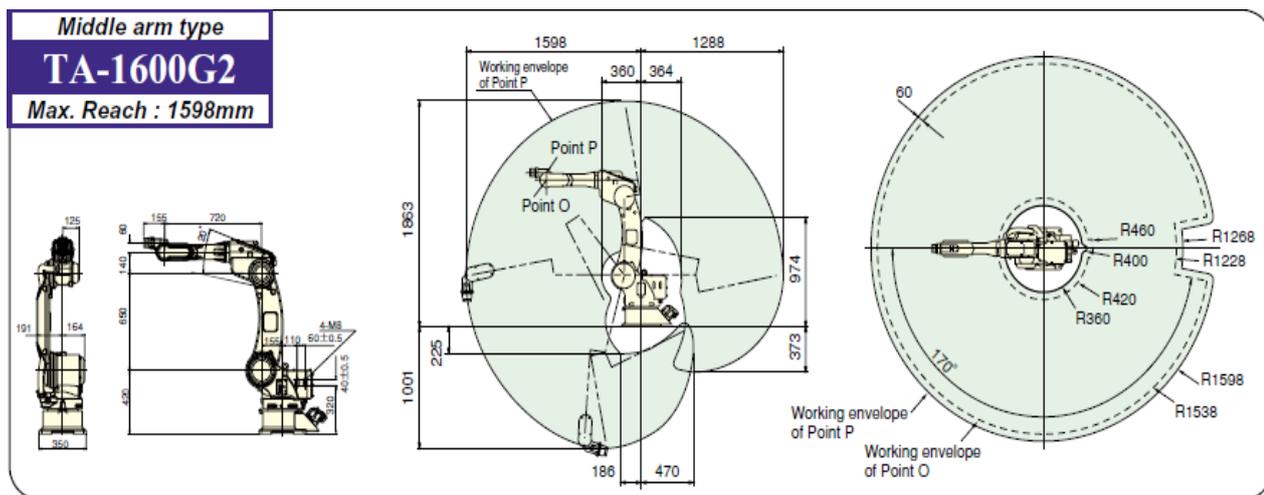


FIG III.17 : Dimensions géométriques et volume de travail du robot TA1600 [20].

III.7 Présentation du logiciel robotDK

On présente logiciel RoboDK. C'est un logiciel hors ligne de programmation et de simulation pour robots industriels. Le logiciel de simulation peut être utilisé pour de nombreux projets de fabrication, par exemples le fraisage, le soudage, le choix et le lieu, l'emballage et l'étiquetage, la palettisation, la peinture, l'étalonnage du robot.

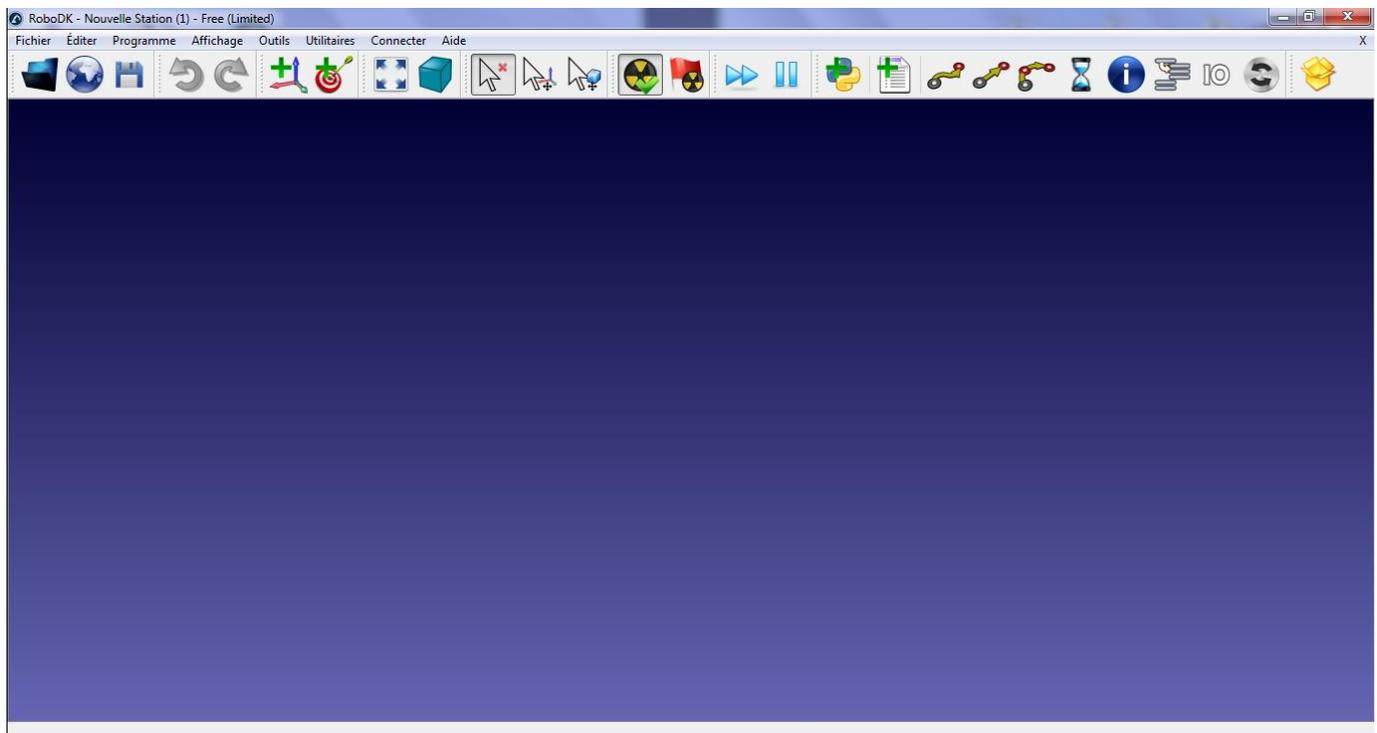


FIG III.18 : logiciel RobotDk.

III.8 Conclusion

Notre choix sur le logiciel RoboDK et les robots TX90 et TA1600 nous a permis de réaliser les mouvements et les positions de l'outil afin de déterminer l'espace de travail.

CHAPITRE IV

**Application de la méthode DH
et simulation avec Robot TX90
et Robot TA1600**

IV.1 Introduction

Pour résoudre la géométrie directe d'un robot sériel spatial à n articulations (pivots ou prismatiques), il est presque inévitable de placer un référentiel sur chaque lien du robot, chose que nous n'avons pas eu besoin de faire dans cet exemple. Ainsi, dans le cas d'un robot à n articulations, donc à n+1 liens, le modèle de la géométrie directe du robot sera exprimé par l'équation suivante :

$$T_n^0 = T_1^0 * T_2^1 * T_3^2 * T_4^3 * T_5^4 * \dots \dots T_n^{n-1}$$

IV.2 Paramètre géométrique du robot TX90 parallèle 6 ddl porte sonde d'échographie

Dans notre travail, l'étude faite sur les structures proposées, porteur robot TX90. En utilisant la notation de Denavit-Hartenberg pour déterminer les paramètres géométriques, on procède dans une première étape à la définition des repères fixes par rapport à chaque corps. Dans la deuxième étape, nous calculons les matrices de changement de repères. La fig:IV.2 montre de ces robots et l'affectation des repères associés.



FIG IV.1 : Robot TX90 STAUBLI [19].

IV.3 Transformations homogènes du modèle géométrique direct « MGD »

Les dimensions géométriques du robot TX90 sont représentées dans la figure IV.2 et les paramètres de Denavit-Hartenberg (D-H) sont montres dans le tableau IV.1. La répartition des amplitudes est présentée dans le tableau IV.2. Sa masse totale robot est d'environ 110 Kg. Par contre les masses des différents corps constitutifs sont des données confidentielles du constructeur.

Le choix de configuration zéro à été déjà fait par son fabricant et nous devons se conformer à ce choix. Dans sa configuration zéro, le vrai robot TX90 est étiré vers le haut.

	α_j	a_j	d_j	θ_j	Transformation
j1	90°	50mm	478mm	θ_1	T01
J2	0°	425mm	50mm	θ_2	T12
J3	90°	0mm	0mm	θ_3	T23
J4	0°	0mm	425mm	θ_4	T34
J5	90°	0mm	0mm	θ_5	T45
J6	90°	0mm	100mm	θ_6	T56

Tableau IV.1 : Paramètres de Denavit-Hartenberg (D-H) du robot TX90 [19].

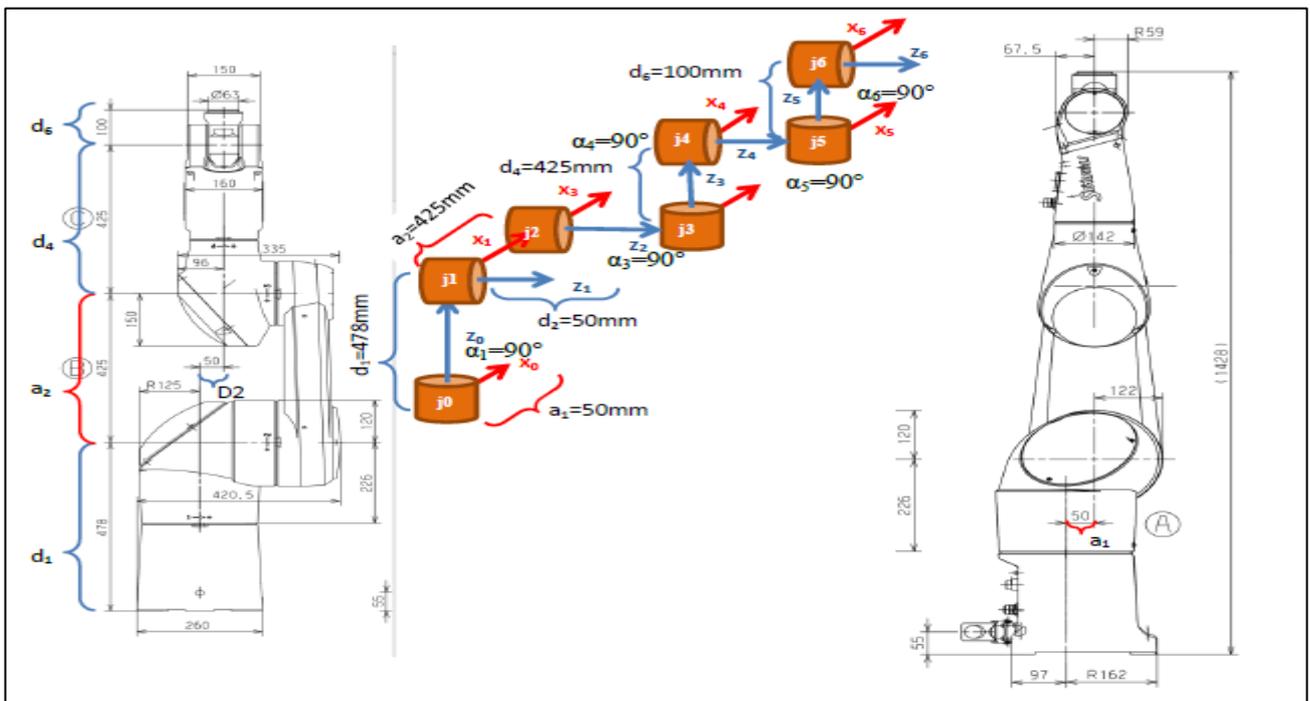


FIG IV.2 : Dimensions géométriques du robot TX90 [19].

Chapitre IV : Application de la méthode DH et simulation avec Robot TX90 et Robot TA1600

θ_j	$\theta_{j_{min}}(^{\circ})$	$\theta_{j_{max}} (^{\circ})$
θ_1	-180	180
θ_2	-130	147.5
θ_3	-145	145
θ_4	-270	270
θ_5	-115	140
θ_6	-270	270



Table IV.2 : Répartition des amplitudes des angles du TX90 [19].

La prochaine étape est de substituer les paramètres DH du tableau IV.1 dans l'équation (IV.1):

IV.4 Application numérique de la méthode de DH

La matrice de transformation homogène ${}^{j-1}T_j$ qui représente la matrice de passage entre deux repères consécutifs R_j dans R_{j-1} ($j = 1.....6$) est définie par :

$${}^{j-1}T_j = \text{Rot}(z ; \theta_j) \cdot \text{Trans}(z; d_j) \cdot \text{Rot}(x ; \alpha_j) \cdot \text{Trans}(x ; a_j) \quad (\text{IV.1})$$

$\text{Rot}(z ; \theta_j)$	$\text{Trans}(z; d_j)$	$\text{Rot}(x ; \alpha_j)$	$\text{Trans}(x ; a_j)$
$\begin{pmatrix} \cos\theta_j & -\sin\theta_j & 0 & 0 \\ \sin\theta_j & \cos\theta_j & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & d_j \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\alpha_j & -\sin\alpha_j & 0 \\ 0 & \sin\alpha_j & \cos\alpha_j & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & a_j \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$

Passage du repère R_0 au repère R_1 :

L'expression de la matrice de transformation homogène T_1^0 permettant de passer du repère R_0 au repère R_1 est la suivante :

$$T_1^0 = \text{Rot}(z ; \theta_1) \cdot \text{Trans}(z; 478) \cdot \text{Rot}(x ; 90^{\circ}) \cdot \text{Trans}(x ; 50)$$

$\begin{pmatrix} \cos\theta_1 & -\sin\theta_1 & 0 & 0 \\ \sin\theta_1 & \cos\theta_1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & d_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\alpha_1 & -\sin\alpha_1 & 0 \\ 0 & \sin\alpha_1 & \cos\alpha_1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & a_1 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$
---	--	---	--

$$T_1^0 = \begin{pmatrix} \cos\theta_1 & -\cos\alpha_1 \sin\theta_1 & \sin\alpha_1 \sin\theta_1 & a_1 \cos\theta_1 \\ \sin\theta_1 & \cos\alpha_1 \cos\theta_1 & -\sin\alpha_1 \cos\theta_1 & a_1 \sin\theta_1 \\ 0 & \sin\alpha_1 & \cos\alpha_1 & d_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$$T_1^0 = \begin{pmatrix} \cos\theta_1 & 0 & \sin\theta_1 & 50\cos\theta_1 \\ \sin\theta_1 & 0 & -\cos\theta_1 & 50\sin\theta_1 \\ 0 & 1 & 0 & 478 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

Passage du repère R1 au repère R2 :

L'expression de la matrice de transformation homogène T_2^1 permettant de passer du repère **R1** au repère **R2** est la suivante :

$$T_2^1 = \text{Rot}(z ; \theta_2) \cdot \text{Trans}(z ; 50) \cdot \text{Rot}(x ; 0^\circ) \cdot \text{Trans}(x ; 425)$$

$$T_2^1 = \begin{pmatrix} \cos\theta_2 & -\sin\theta_2 & 0 & 425\cos\theta_2 \\ \sin\theta_2 & \cos\theta_2 & 0 & 425\sin\theta_2 \\ 0 & 0 & 1 & 50 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

Passage du repère R2 au repère R3 :

L'expression de la matrice de transformation homogène T_3^2 permettant de passer du repère **R2** au repère **R3** est la suivante :

$$T_3^2 = \text{Rot}(z ; \theta_3) \cdot \text{Trans}(z ; 0) \cdot \text{Rot}(x ; 90^\circ) \cdot \text{Trans}(x ; 0)$$

$$T_3^2 = \begin{pmatrix} \cos\theta_3 & 0 & \sin\theta_3 & 0 \\ \sin\theta_3 & 0 & -\cos\theta_3 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

Chapitre IV : Application de la méthode DH et simulation avec Robot TX90 et Robot TA1600

Passage du repère R3 au repère R4 :

L'expression de la matrice de transformation homogène T_4^3 permettant de passer du repère R_3 au repère R_4 est la suivante :

$$T_4^3 = \text{Rot}(z ; \theta_4) \cdot \text{Trans}(z ; 425) \cdot \text{Rot}(x ; 0^\circ) \cdot \text{Trans}(x ; 0)$$

$$T_4^3 = \begin{pmatrix} \cos\theta_4 & -\sin\theta_4 & 0 & 0 \\ \sin\theta_4 & \cos\theta_4 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 425 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

Passage du repère R4 au repère R5 :

L'expression de la matrice de transformation homogène T_5^4 permettant de passer du repère R_4 au repère R_5 est la suivante :

$$T_5^4 = \text{Rot}(z ; \theta_5) \cdot \text{Trans}(z ; 0) \cdot \text{Rot}(x ; 90^\circ) \cdot \text{Trans}(x ; 0)$$

$$T_5^4 = \begin{pmatrix} \cos\theta_5 & 0 & \sin\theta_5 & 0 \\ \sin\theta_5 & 0 & -\cos\theta_5 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

Passage du repère R5 au repère R6 :

L'expression de la matrice de transformation homogène T_6^5 permettant de passer du repère R_5 au repère R_6 est la suivante :

$$T_6^5 = \text{Rot}(z ; \theta_6) \cdot \text{Trans}(z ; 100) \cdot \text{Rot}(x ; 90^\circ) \cdot \text{Trans}(x ; 0)$$

$$T_6^5 = \begin{pmatrix} \cos\theta_6 & 0 & \sin\theta_6 & 0 \\ \sin\theta_6 & 0 & -\cos\theta_6 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 100 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

IV.5 Modèle géométrique directe (MGD)

Le modèle géométrique direct est utilisé pour caractériser le fonctionnement du bras manipulateur robot TX90. Concrètement, le MGD permet de calculer la configuration de la pince (organe terminal) du robot en fonction de la position de chaque articulation du robot.

Le MGD s'obtient par le produit suivant : $T_6^0 = T_1^0 * T_2^1 * T_3^2 * T_4^3 * T_5^4 * T_6^5$

$$T_6^0 = \begin{pmatrix} \cos\theta_1 & 0 & \sin\theta_1 & 50\cos\theta_1 \\ \sin\theta_1 & 0 & -\cos\theta_1 & 50\sin\theta_1 \\ 0 & 1 & 0 & 478 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} * \begin{pmatrix} \cos\theta_2 & -\sin\theta_2 & 0 & 425\cos\theta_2 \\ \sin\theta_2 & \cos\theta_2 & 0 & 425\sin\theta_2 \\ 0 & 0 & 1 & 50 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} * \begin{pmatrix} \cos\theta_3 & 0 & \sin\theta_3 & 0 \\ \sin\theta_3 & 0 & -\cos\theta_3 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \\ * \begin{pmatrix} \cos\theta_4 & -\sin\theta_4 & 0 & 0 \\ \sin\theta_4 & \cos\theta_4 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 425 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} * \begin{pmatrix} \cos\theta_5 & 0 & \sin\theta_5 & 0 \\ \sin\theta_5 & 0 & -\cos\theta_5 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} * \begin{pmatrix} \cos\theta_6 & 0 & \sin\theta_6 & 0 \\ \sin\theta_6 & 0 & -\cos\theta_6 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 100 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

IV.6 Simulation avec logiciel RoboDK

IV.6.1 Premier mouvement

$\theta_1 = 90^\circ$ / $\theta_2 = 0^\circ$ / $\theta_3 = -15^\circ$ / $\theta_4 = 45^\circ$ / $\theta_5 = 90^\circ$ / $\theta_6 = 45^\circ$

$$T_6^0 = \begin{pmatrix} \cos 90 & 0 & \sin 90 & 50\cos 90 \\ \sin 90 & 0 & -\cos 90 & 50\sin 90 \\ 0 & 1 & 0 & 478 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} * \begin{pmatrix} \cos 0 & -\sin 0 & 0 & 425\cos 0 \\ \sin 0 & \cos 0 & 0 & 425\sin 0 \\ 0 & 0 & 1 & 50 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} * \begin{pmatrix} \cos(-15) & 0 & \sin(-15) & 0 \\ \sin(-15) & 0 & -\cos(-15) & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \\ * \begin{pmatrix} \cos 45 & -\sin 45 & 0 & 0 \\ \sin 45 & \cos 45 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 425 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} * \begin{pmatrix} \cos 90 & 0 & \sin 90 & 0 \\ \sin 90 & 0 & -\cos 90 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} * \begin{pmatrix} \cos 45 & 0 & \sin 45 & 0 \\ \sin 45 & 0 & -\cos 45 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 100 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$$T_6^0 = \begin{pmatrix} 0.49 & 0.7 & 0.49 & 120.0 \\ -0.6454 & 0.672 & -0.2954 & 435.95 \\ -0.5495 & -0.175 & 0.7945 & 52.5 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

Chapitre IV : Application de la méthode DH et simulation avec Robot TX90 et Robot TA1600

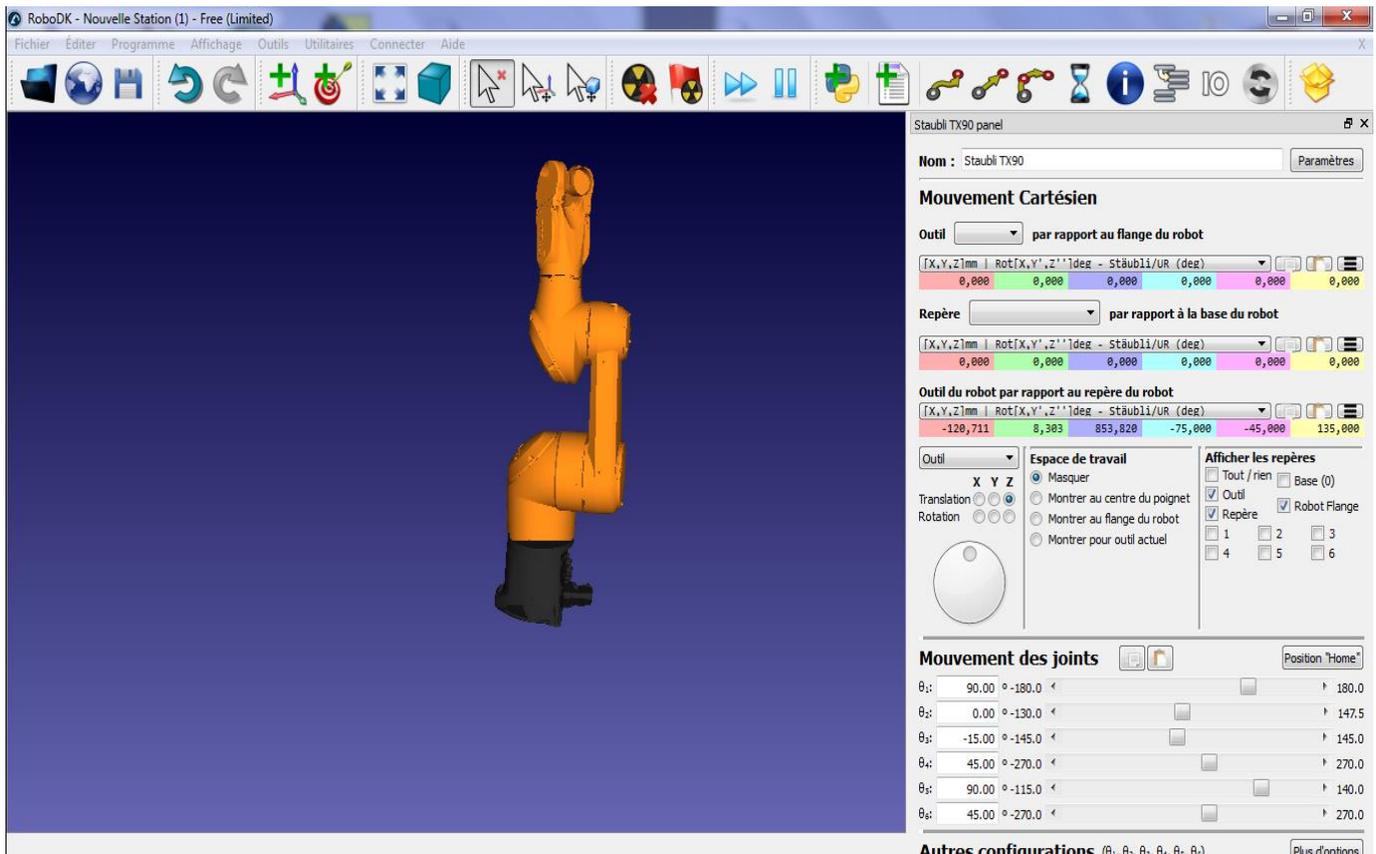


FIG IV.3 : articulations avec les nouveaux paramètres θ_n avec RobotTX90.

IV.6.2 Deuxième mouvement

$$\theta_1 = 45^\circ / \theta_2 = 30^\circ / \theta_3 = 45^\circ / \theta_4 = 45^\circ / \theta_5 = 140^\circ / \theta_6 = 90^\circ$$

$$T_6^0 = \begin{pmatrix} \cos 45 & 0 & \sin 45 & 50 \cos 45 \\ \sin 45 & 0 & -\cos 45 & 50 \sin 45 \\ 0 & 1 & 0 & 478 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} * \begin{pmatrix} \cos 30 & -\sin 30 & 0 & 425 \cos 30 \\ \sin 30 & \cos 30 & 0 & 425 \sin 30 \\ 0 & 0 & 1 & 50 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} * \begin{pmatrix} \cos 45 & 0 & \sin 45 & 0 \\ \sin 45 & 0 & -\cos 45 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \\ * \begin{pmatrix} \cos 45 & -\sin 45 & 0 & 0 \\ \sin 45 & \cos 45 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 425 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} * \begin{pmatrix} \cos 140 & 0 & \sin 140 & 0 \\ \sin 140 & 0 & -\cos 140 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} * \begin{pmatrix} \cos 90 & 0 & \sin 90 & 0 \\ \sin 90 & 0 & -\cos 90 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 100 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$$T_6^0 = \begin{pmatrix} 0.6664 & 0.11407 & -0.23167 & 622.59 \\ 0.6664 & 0.23167 & -0.11407 & 564.35 \\ -0.252 & 0.93296 & -0.93296 & 676.70 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

Chapitre IV : Application de la méthode DH et simulation avec Robot TX90 et Robot TA1600

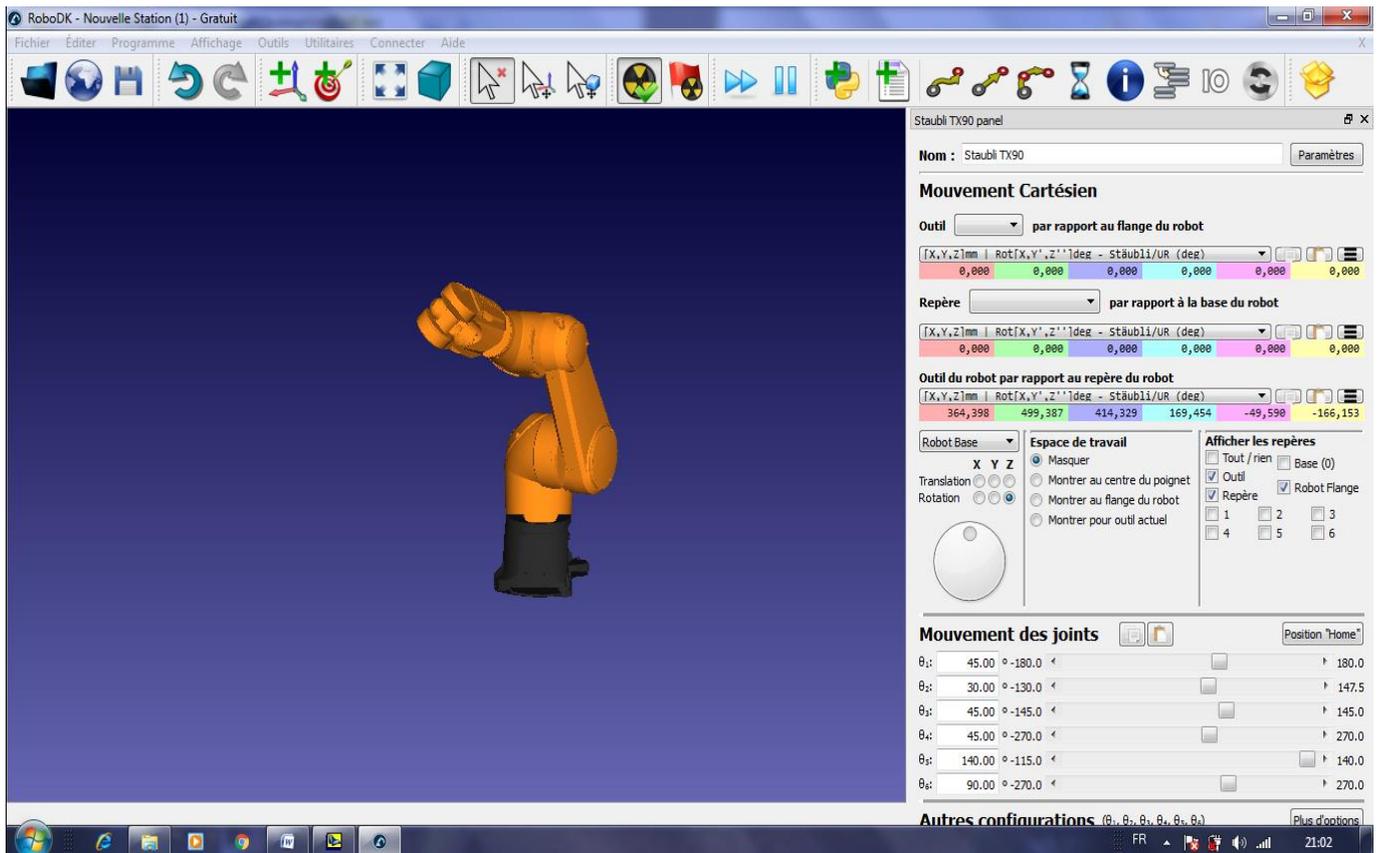


FIG IV.4 : articulations avec les nouveaux paramètres θ_m avec RobotTX90.

IV.6.3 Troisième mouvement

$$\theta_1 = 108^\circ / \theta_2 = 46^\circ / \theta_3 = 24^\circ / \theta_4 = -13.73^\circ / \theta_5 = 67^\circ / \theta_6 = -91^\circ$$

$$T_6^0 = \begin{pmatrix} \cos 108 & 0 & \sin 108 & 50 \cos 108 \\ \sin 108 & 0 & -\cos 108 & 50 \sin 108 \\ 0 & 1 & 0 & 478 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} * \begin{pmatrix} \cos 46 & -\sin 46 & 0 & 425 \cos 46 \\ \sin 46 & \cos 46 & 0 & 425 \sin 46 \\ 0 & 0 & 1 & 50 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} * \begin{pmatrix} \cos 24 & 0 & \sin 24 & 0 \\ \sin 24 & 0 & -\cos 24 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \\ * \begin{pmatrix} \cos(-13.73) & -\sin(-13.73) & 0 & 0 \\ \sin(-13.73) & \cos(-13.73) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 425 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} * \begin{pmatrix} \cos 67 & 0 & \sin 67 & 0 \\ \sin 67 & 0 & -\cos 67 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \\ * \begin{pmatrix} \cos -91 & 0 & \sin -91 & 0 \\ \sin -91 & 0 & -\cos -91 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 100 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

Chapitre IV : Application de la méthode DH et simulation avec Robot TX90 et Robot TA1600

$$T_6^0 = \begin{pmatrix} 0.26685 & -0.64322 & -0.69745 & -238.40 \\ -0.87157 & 8.5276 \times 10^{-2} & -0.42044 & 723.82 \\ 0.33502 & 0.74017 & -0.54195 & 711.56 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

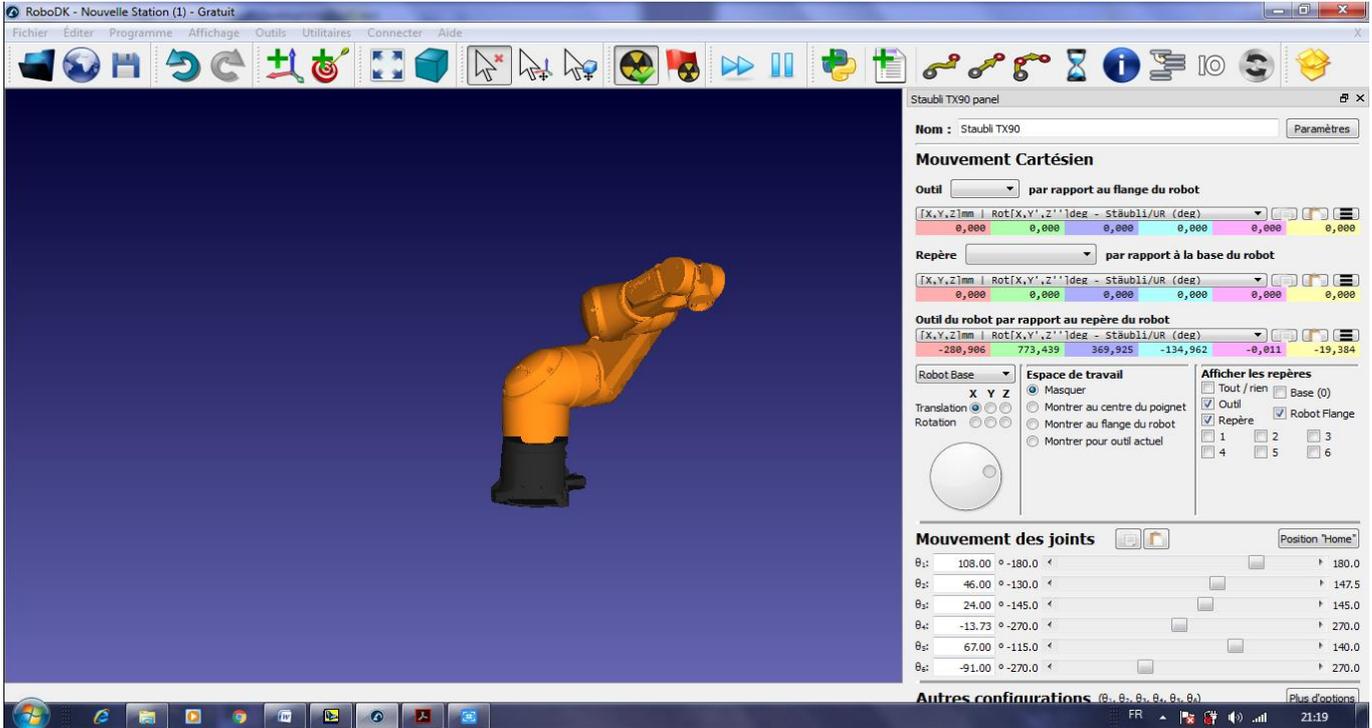


FIG IV.5 : articulations avec les nouveaux paramètres θ_r avec RobotTX90.

IV.6.4 Quatrième mouvement

$$\theta_1 = 0^\circ / \theta_2 = 50^\circ / \theta_3 = 47^\circ / \theta_4 = 25^\circ / \theta_5 = 20^\circ / \theta_6 = 0^\circ$$

$$T_6^0 = \begin{pmatrix} \cos 0 & 0 & \sin 0 & 50 \cos 0 \\ \sin 0 & 0 & -\cos 0 & 50 \sin 0 \\ 0 & 1 & 0 & 478 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} * \begin{pmatrix} \cos 50 & -\sin 50 & 0 & 425 \cos 50 \\ \sin 50 & \cos 50 & 0 & 425 \sin 50 \\ 0 & 0 & 1 & 50 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} * \begin{pmatrix} \cos 47 & 0 & \sin 47 & 0 \\ \sin 47 & 0 & -\cos 47 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} * \begin{pmatrix} \cos 25 & -\sin 25 & 0 & 0 \\ \sin 25 & \cos 25 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 425 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} * \begin{pmatrix} \cos 20 & 0 & \sin 20 & 0 \\ \sin 20 & 0 & -\cos 20 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} * \begin{pmatrix} \cos 0 & 0 & \sin 0 & 0 \\ \sin 0 & 0 & -\cos 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 100 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

Chapitre IV : Application de la méthode DH et simulation avec Robot TX90 et Robot TA1600

$$T_6^0 = \begin{pmatrix} -8.3026 \times 10^{-2} & -8.3313 \times 10^{-2} & -0.984 & 732.97 \\ -0.6966 & 0.6942 & 0 & 19.42 \\ 0.68309 & 0.68545 & -0.1196 & 922.88 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

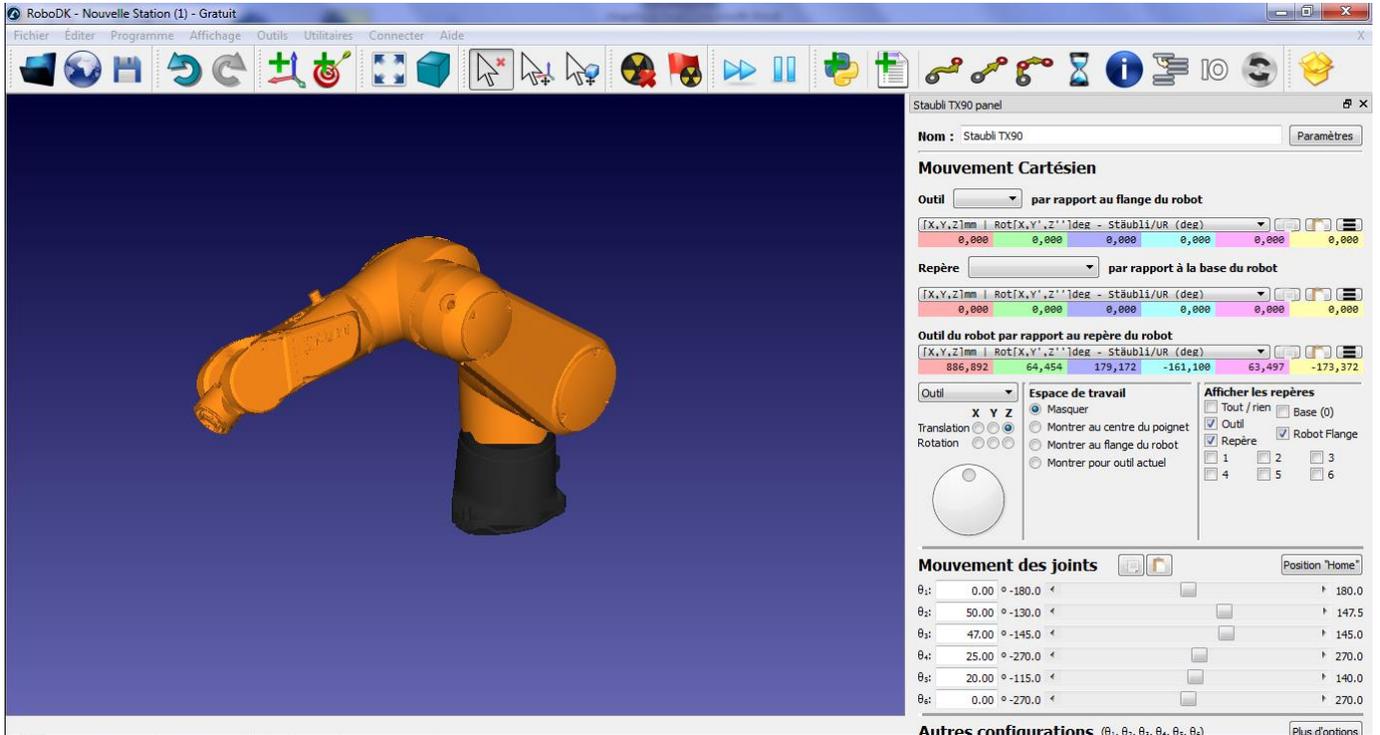


FIG IV.6 : articulations avec les nouveaux paramètres θ_s avec RobotTX90.

Ces résultats sont obtenus par l'utilisation du logiciel «Scientifique WorkPlace ».

IV.7 Simulation avec robot TA1600

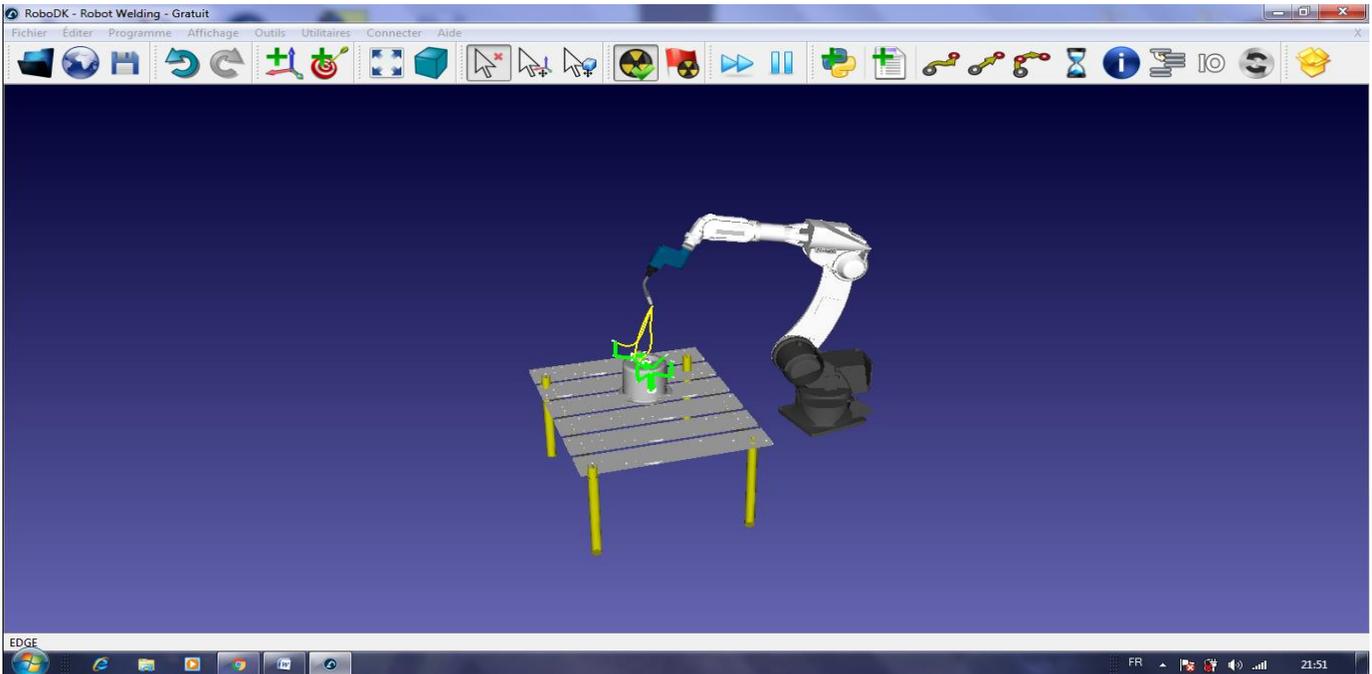


FIG IV.7 : Robot TA-1600.

IV.8 Programme de simulation robot TA1600

```
// Program generated by RoboDK 2.7.1 for Panasonic TA-1600 on 01/04/2017 21:21:08  
  
// Using nominal kinematics.  
  
onWeldZone1_Start();  
  
Set_BaseFrame(Pose(907.213223, -302.345889, 276.168299, 90.000000, 0.000000, -9.982154));  
  
Set_ToolFrame(Pose(-4.000000, 0.000000, 371.300000, 0.000000, 45.000000, 0.000000));  
  
MoveJ(Joints(-12.557321,6.598635,3.570029,0.026048,79.832498,-2.605431));  
  
Set_Speed(17);  
  
SetRPM(70.0);  
  
onWeldZone1_Approach();  
  
MoveL(Pose(80.178528, 273.912140, -94.776045, -90.000000, -0.036289, 135.000000));  
  
MoveL(Pose(9.467849, 203.201462, -94.776014, -90.000000, -0.036289, 135.000000));  
  
onWeldZone1_PathStart();
```

Chapitre IV : Application de la méthode DH et simulation avec Robot TX90 et Robot TA1600

MoveL(Pose(9.467849, 203.201462, -94.776014, -90.000000, -0.036289, 135.000000));
MoveL(Pose(9.521440, 203.201462, -94.769980, -90.000000, -0.000014, 135.000000));
MoveL(Pose(9.521453, 203.201463, -34.924926, -90.000000, 1.661816, 135.000000));
MoveL(Pose(9.489444, 203.201463, -34.144779, -93.334067, 4.980765, 134.806712));
MoveL(Pose(9.393613, 203.201463, -33.369870, -96.701873, 8.282358, 134.417528));
MoveL(Pose(9.234613, 203.201463, -32.605422, -100.126486, 11.555684, 133.827151));
MoveL(Pose(9.013503, 203.201463, -31.856562, -103.631527, 14.787605, 133.027896));
MoveL(Pose(8.731783, 203.201463, -31.128354, -107.241564, 17.964308, 132.009590));
MoveL(Pose(8.391354, 203.201463, -30.425667, -110.982552, 21.073074, 130.758636));
MoveL(Pose(7.994484, 203.201463, -29.753239, -114.881013, 24.095901, 129.260436));
MoveL(Pose(7.543854, 203.201463, -29.115593, -118.964663, 27.015614, 127.497443));
MoveL(Pose(7.042487, 203.201462, -28.517039, -123.042372, 29.218688, 125.896179));
MoveL(Pose(6.732687, 203.201462, -28.192279, -125.589025, 30.778184, 124.622673));
MoveL(Pose(6.407925, 203.201463, -27.882460, -128.498343, 32.840602, 122.726925));
MoveL(Pose(5.809345, 203.201462, -27.381094, -133.342792, 35.289123, 120.011469));
MoveL(Pose(5.171696, 203.201462, -26.930468, -138.475897, 37.532504, 116.962692));
MoveL(Pose(4.499266, 203.201462, -26.533603, -143.910272, 39.540839, 113.574627));
MoveL(Pose(3.796577, 203.201462, -26.193178, -149.645022, 41.281083, 109.855282));
MoveL(Pose(3.068367, 203.201462, -25.911462, -155.666571, 42.722542, 105.823472));
MoveL(Pose(2.319507, 203.201462, -25.690358, -161.940872, 43.834845, 101.519491));
MoveL(Pose(1.555058, 203.201462, -25.531362, -168.414335, 44.592240, 97.002746));
MoveL(Pose(0.780149, 203.201462, -25.435538, -175.015925, 44.975932, 92.349639));
MoveL(Pose(-0.000001, 203.201462, -25.403533, 178.338789, 44.975904, 87.650364));
MoveL(Pose(-0.780147, 203.201462, -25.435576, 171.737180, 44.592225, 82.997257));
MoveL(Pose(-1.555067, 203.201462, -25.531322, 165.263743, 43.834853, 78.480506));
MoveL(Pose(-2.319509, 203.201462, -25.690389, 158.989407, 42.722555, 74.176520));

Chapitre IV : Application de la méthode DH et simulation avec Robot TX90 et Robot TA1600

```
MoveL(Pose(-3.068368, 203.201462, -25.911504, 152.967844, 41.281077, 70.144722));  
MoveL(Pose(-3.796578, 203.201462, -26.193231, 147.233132, 39.540833, 66.425377));  
MoveL(Pose(-4.499267, 203.201462, -26.533666, 141.798745, 37.532519, 63.037292));  
MoveL(Pose(-5.171696, 203.201462, -26.930541, 136.665622, 35.289105, 59.988553));  
MoveL(Pose(-5.809345, 203.201462, -27.381177, 131.821228, 32.840614, 57.273058));  
MoveL(Pose(-6.407927, 203.201462, -27.882535, 127.500641, 30.782051, 55.380775));
```

III.9 Conclusion

L'application de la méthode de Denavit-Hartenberg à prouvé sont efficacité sur le plan de calcul en utilisant le logiciel Scientifique WorkPlace ce qui nous a permis d'obtenir des résultats très satisfaisantes et les résultats du programme (RoboDK) de TA1600.

Conclusion générale

Conclusion générale

L'objectif de ce travail porte sur la modélisation des robots industriels et plus spécifiquement de trouver le modèle géométrique direct d'un robot manipulateur à chaîne continue ouverte.

La première partie est consacrée à donner une vision plus large sur le domaine d'application de la robotique et les différents concepts utilisés dans les différents milieux d'utilisation médical, industrielle etc.

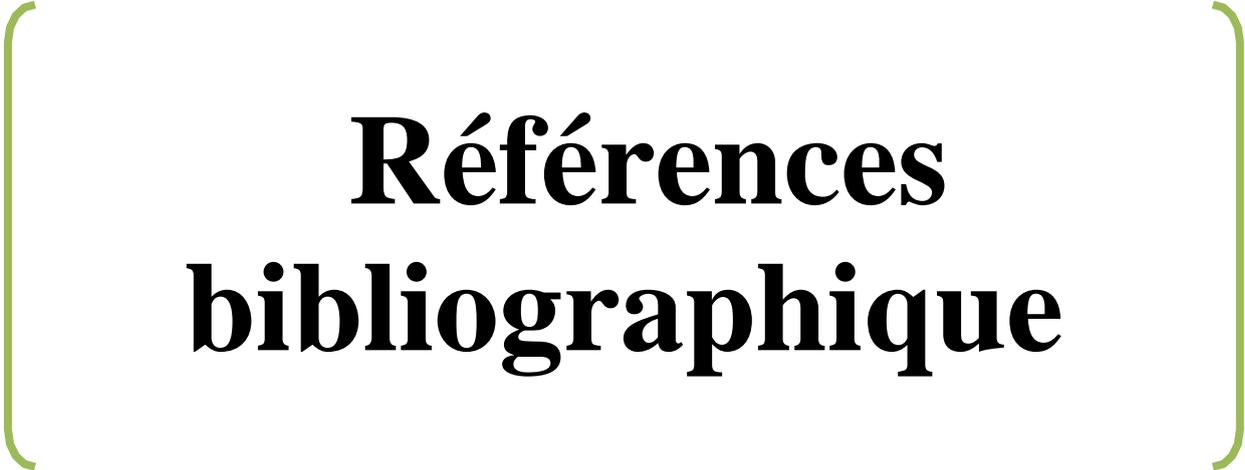
Dans la seconde partie on présente les différentes approches et méthodes de calcul et notre choix est basé sur la méthode Denavit-Hartenberg pour définir la position et les paramètres des positions des éléments du robot.

Le troisième chapitre on présente le logiciel RoboDK et les robots TX90 et TA1600 pour connaître toutes les caractéristiques géométriques.

Dans le quatrième chapitre on a utilisé la modélisation en appliquant la convention de Denavit-Hartenberg dans la robot TX90 qui présente une souplesse pour le logiciel de calcul Scientific WorkPlace pour calculer le modèle géométrique ce qui nous a permis la localisation de l'effecteur à n'importe quel point dans l'espace de travail.

La méthode de Denavit-Hartenberg est basée sur la technique d'optimisation numérique.

Enfin de ce chapitre on a utilisé logiciel de simulation **RoboDK** pour obtenir quelques trajectoires possibles et définir l'espace de travail avec les Robot **TX90** et **TA1600**.



Références bibliographique

Références bibliographique

- [1] **Jean-Louis Boimond**, Robotique, Université Angers année 2008-2009.
 - [2] **P. Fisette, H. Buyse, J.C. Samin**, MECA 2732 : Introduction à la Robotique, année 10 novembre 2004.
 - [3] **A. Benali**, Robotique et Automatisation Industriel année décembre 1999.
 - [4] **Laetitia Matignon, GREYC-CNRS Université de Caen, France** Introduction a la robotique année - 2011/2012.
 - [5] **J.L. Boimond**, Robotique, Université Angers année 2008-2009.
 - [6] **Philippe Coiffet Hermes**, La Robotique, principes et applications année 15 janvier 1992.
 - [7] **H. Hamdi**, Introduction à la Robotique. Les éditions de l'université Mentouré Constantine 2002-2003.
 - [8] **E. Dombre**, Analyse et Modélisation des Robots Manipulateurs, année 22 janvier 2002.
 - [9] **P. Fisette, H. Buyse, J.C. Samin**, Introduction à la robotique , année 29 juin 2009.
 - [10] **Jacques Gangloff**, Cours de Robotique, année 2003.
 - [11] **Toufik BENTALEB**, Contribution à l'étalonnage géométrique des robots industriels Ingénieur d'Etat en Génie Mécanique année 20 décembre 2006.
 - [12] **Vincent Padois, Chaire RTE de Robotique d'Intervention** Université Pierre et Marie Curie Institut des Systèmes Intelligents et de Robotique année 31 janvier 2013.
 - [13] **Robin Dualé , Robotisation – mode d'emploi** Maquette et mise en page réalisées par les Editions Techniques année 2011.
 - [14] **Québec ICRIQ, les robots de service**, année 9 décembre 2015.
 - [15] **Omar Al Assad**, Etude d'une méthodologie de modélisation. Automatique / Robotique. Université Paris Sud - Paris XI, année 2009. Français.
 - [16] **Mattéo Toniutti et Jonathan Serveau**, Les robots militaires année 2003-2004.
 - [17] **Bernard BAYLE**, Université Louis Pasteur de Strasbourg IUP Technologies Avancées des Sciences du Vivant année 2004–2005.
 - [18] **Wisama KHALIL, Etienne DOMBRE**: Bases de la modélisation et de la commande des robots-manipulateurs de type série année 08 mai 2012.
 - [19] **Site officiel de Stäubli**, Famille robots industriels TX90 « <http://www.staubli.fr> ».
 - [20] **Site officiel de Panasonic**, robots industriels TA1600 « <https://eu.industrial.panasonic.com> ».
-

Résumé

الملخص

الهدف من هذا العمل هو حساب موقع أداة ذراع آلية ذات ستة درجات حرية باستعمال طريقة دينافيت-هارتنبرغ وباستعمال برنامج سيوننتفيك واركسبلايس 5.5. التحكم والسيطرة على أداة ذراع آلية ذات ستة درجات حرية يتم عن طريق برنامج روبودك.

الكلمات المفتاحية

بنية الروبوت , دينافيت-هارتنبرغ , برنامج روبودك.

Résumé

L'objectif de ce travail est le calcul de la position de l'effecteur d'un bras manipulateur à six degrés de liberté par l'utilisation de la méthode de Denavit-Hartenberg et du logiciel Scientific WorkPlace 5.5.

Pour le Contrôle et la commande du bras manipulateur à six degrés de liberté on utilisant le logiciel RoboDK.

Mots clés

Structure robotique , Denavit-Hartenberg , logiciel RoboDK.

Abstract

The objective of this work is to calculate the position of effector for an manipulator with Six degrees of freedom using the Denavit-Hartenberg convention and of Scientific WorkPlace 5.5.

For the control and the command of a manipulator arm with six degrees of freedom it to use RoboDK software.

Keywords

Robotic structure , Denavit-Hartenberg , RoboDK software.
