

République Algérienne Démocratique et Populaire

**Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la
Recherche Scientifique**



Université Echahid Hamma Lakhdar d'El-Oued



FACULTE DES SCIENCES ET TECHNOLOGIE

Mémoire de fin d'étude

Présenté pour l'obtention du diplôme de

LICENCE ACADEMIQUE

Domaine: Sciences et Technologies

Filière: Génie mécanique

Spécialité: Maintenance des équipements industriels

Thème

**Le modèle géométrique direct d'un robot à chaîne
ouverte simple Robot Stäubli Rx-90**

Devant le jury composé de :Présenté par :

.....

Président

-ZOUARI FERHAT Ismail

.....

Examineur

- ZOUARI FERHAT Abd elouahed

.....

Examineur

- BEN YAMMA Ali

MEZIANE Assia

Encadreur

2014-2015

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

REMERCIEMENTS

En premier lieu, nous remercions **Dieu**, le **Tout-Puissant** pour ses faveurs et ses grâces, de nous avoir donnés le courage et la patience de mener ce travail durant toute cette année. De plus, nos remerciements s'adressent à Madame **Meziane Assia**, pour nous avoir encadrés et guidés durant cette année. Ses remarques pertinentes et conseils nous ont beaucoup aidés à accomplir notre travail.

Nous tenons à remercier les membres de jury, pour nous avoir honorés en acceptant de juger notre travail.

Nous n'oublions pas de remercier nos amis d'études et tous ceux qui nous ont aidés de près ou de loin.

Enfin, un grand remerciement destiné à nos enseignants et enseignantes, eux qui ont contribué à notre formation, depuis le cycle primaire jusqu'au cursus universitaire.

ملخص

هذه الدراسة تهتم بدراسة النموذج الهندسي لروبوت، الهدف من الدراسة هو حساب النموذج الهندسي لروبوت Staubli rx90 باستعمال طريقة Denavit-Hartenberg .

لقد قمنا في بداية العمل اعطاء نظرة عامة عن الروبوتات وكذا استخداماتها وتاريخها وتطورها على مدى الزمن وقد تطرقنا الى الروبوت الصناعي الامر الذي جعلنا نبدا بدراسة النموذج الهندسي للروبوت ذي السلسلة المفتوحة .

قمنا بوضع النموذج الهندسي لروبوت Staubli rx90 وكذا استنتاج قيم وزوايا الحركة، وبما ان الروبوت يحتوي على 6 مفاصل قمنا بداسة كل جزء واستنتاج قيم الحركة وزواياها وبالتالي حساب المصفوفات من 0 الى 5 لكل مفصل وفي النهاية قمنا بحساب المصفوفة النهائية باستعمال برنامج maple وفي الاخير تم عرض مساحة عمل الروبوت باستخدام برنامج الماتلاب.

Résumé

Cette étude porte sur l'étude du modèle géométrique du robot, l'objectif de l'étude est de calculer le modèle géométrique du robot à l'aide de façon RX90 StaubliDenavit-Hartenberg.

Nous avons dès le début des travaux pour donner un aperçu des robots, ainsi que ses utilisations, son histoire et son évolution au fil du temps a traité avec le robot industriel qui nous a fait commencer l'étude du modèle géométrique du robot sur la chaîne ouverte.

Nous avons développé un modèle géométrique des RX90 robot Staubli ainsi que les valeurs et les angles de mouvement conclusion, puisque le robot dispose de 6 joints ont bdash chaque partie et la conclusion des valeurs et des angles de mouvement et donc aux dépens des matrices de 0 à 5 pour chaque détaillée En fin de compte, nous calculons la matrice finale en utilisant le programme d'érable dans la dernière a été consultée espace de travail en utilisant le logiciel MATLAB.

Liste des figures

CHAPITRE I : Etat de l'art

Figure I.1 Robot ASIMO	9
Figure I.2 Robot soudage	11
Figure I.3 Robot de chirurgie	12
Figure I.4 Robot exploratoire sur Mars	12
Figure I.5 Robot détecteur des mines	13
Figure I.6 Robot drone	14

CHAPITRE II : Désicription géométrique des robots STÄUBLI RX 90

Figure II.1: Système robotisé industriel	19
Figure II.2: Constituants d'un robot industriel	20
Figure II.3 : ROBOT STÄUBLI RX 90	21
Figure II.4: System robot STÄUBLI RX 90	22
Figure II.5: Symbole de l'articulation rotoïde	24
Figure II.6: Robot à structure ouverte simple.....	25
Figure II.7: Paramètres géométriques dans le cas d'une structure ouverte.....	25
Figure II.8: Paramètres de repères et notation pour le robot Stäubli RX-90.....	27

CHAPITRE III: Modèle géométrique direct

Figure III.Z montre la position de l'organe terminal	40
---	----

Liste des Tableaux

Tableau II .1. Quelques caractéristiques du robot RX 90	22
Tableau II .2 Quelques caractéristiques du robot RX 90	23
Tableau II .3 Paramètre géométriques du robot Stäubli RX-90	28

SOMMAIRE

Introduction général

Liste des figures..... i

CHAPITRE I : Etat de l'art

I.1.Introduction	9
I.2.Étymologie	10
I.3.Historique	10
I.4.Utilisations des robots	11
I.4.1.Industriel	11
I.4.2.Médecin -	12
I.4.3.Exploration spatiale	12
I. 4.4.Militaire	13
I.4.5.Loisirs	14
I.4.6.Les premiers robots	14
I.5.Classification des robots	15
I.6. Les robots mobiles autonomes	16
I.7.Caractéristiques d'un robot	16

CHAPITRE II: Description géométrique du robot Stäubli Rx-90

II.1.Introduction	19
II.1.1. La robotique industrielle	19
II.2.Définition	19
II.3.Description générale d'un robot <i>Stäubli Rx-90</i>	21
II.4.Quelques caractéristiques du robot RX 90	22
II.5. Description géométrique	24

CHAPITRE III: Modèle géométrique direct

III.1 Modélisation	30
III.2. Modélisation géométrique.....	31
III.2.1. Modèle géométrique direct.....	31
III.3. Annex (A).....	33
Conclusion général	
Bibliographie	

Introduction général

Le développement dans le domaine de la robotique a été poussé en premier lieu par une motivations d'imitation des capacités basiques de l'être humain, afin de lui faciliter les tâches difficiles et répétitives dans le domaine de l'industrie. Dans ce mémoire, nous présentons le calcul du modèle géométrique direct des robots à structure ouverte simple.

L'objectif de ce mémoire suivante:

Le premier chapitre:

est consacré à l'état de l'art, on donne historique des robots et quelques définitions de base.

Dans le deuxième chapitre:

est dédiée la description de la géométrie des robots à structure ouverte simple (description de la géométrie du robot Staubli RX-90).

Dans le 3^{ème} chapitre:

on se base sur la description géométrique pour déterminer le MGD du robot étudié. La partie de calculs de ce mémoire termine par une Annexe qui montre comment déterminer le modèle géométrique direct en suite une conclusion générale.

Chapter I

Etat de l'art

"Look deep into nature, and then you will understand everything better"

"ALBERT Einstein"

I.1.Introduction:

Un robot est un impossible pour les humains, soit dispositif mécatronique (alliant mécanique, électronique et informatique) accomplissant automatiquement soit des tâches qui sont généralement dangereuses, pénibles, répétitives ou des tâches plus simples mais en les réalisant mieux que ce que ferait un être humain.

Le mot robot qui apparaît pour la première fois dans la pièce de théâtre de Karel Čapek de science-fiction R. U. R. (Rossum's Universal Robots)¹ a été inventé par son frère Josef à partir du mot tchèque « robota » qui signifie « travail, besogne, corvée ».

Les robots les plus évolués sont capables de se déplacer et de se recharger par eux-mêmes, à l'image du robot ASIMO fabriqué par Honda ou du robot NAO fabriqué par Aldebaran Robotics.

En dépit de leur coût élevé à l'époque (faute de microprocesseurs puissants produits en masse), les robots se sont imposés dès le début des années 1970 pour certaines tâches comme la peinture des carrosseries automobiles, en atmosphère de vapeurs toxiques. Depuis, l'évolution de l'électronique et de l'informatique permet aux robots de réaliser des tâches de plus en plus complexes, avec de plus en plus d'autonomie, et de plus en plus rapidement.

La science des robots se nomme la robotique.

Par extension, le terme « robot » est également être utilisé pour désigner :

un dispositif qui n'est pas automatique, pour évoquer la haute technicité du dispositif, à l'instar du robot chirurgien Da Vinci,

un logiciel intelligent, également appelé bot informatique.

Des micro-robots existent - pouvant par exemple se déplacer sur l'eau comme les gerris - et les premiers nanocomposants et nano-moteurs semblent laisser envisager la création de robots dans les années ou décennies à venir. [11].



Figure I.1.:Robot ASIMO

I.2.Étymologie:

Le terme robot est issu des langues slaves et formé à partir du radical rabot, rabota qui signifie travail, corvée que l'on retrouve dans le mot Rab (раб), esclave en russe. Ce radical présent dans les autres langues slaves (ex. : travailleur = robotnik en polonais, работник en biélorusse, pracovník en tchèque) provient de l'indo-européen orbho- qui a également donné naissance au gotique arbais signifiant besoin, nécessité, lui-même source de l'allemand Arbeit, travail.

Il fut initialement utilisé par l'écrivain tchécoslovaque Karel Čapek dans sa pièce de théâtre R. U. R. (Rossum's Universal Robots) en 1920. Cette pièce fut jouée pour la première fois en 1921. Bien que Karel Čapek soit souvent considéré comme l'inventeur du mot, il a lui-même désigné son frère Josef, peintre et écrivain, comme étant l'inventeur réel du mot. Ainsi certains assurent que le mot robot fut d'abord utilisé dans la courte pièce Opilec de Josef Čapek (The Drunkard), publiée dans la collection Lelio en 1917. Selon la Société des frères Čapek à Prague, ce serait néanmoins inexact. Le mot employé dans Opilec est automate, alors que c'est bien dans R.U.R. que le mot robot est apparu pour la première fois.

Alors que les « robots » de Karel Čapek étaient des humains organiques artificiels, le mot robot fut emprunté pour désigner des humains « mécaniques ». Le terme androïde peut signifier l'un ou l'autre, alors que le terme cyborg (« organisme cybernétique » ou « homme bionique ») désigne une créature faite de parties organiques et artificielles.

Quant au terme robotique, il fut introduit dans la littérature en 1942 par Isaac Asimov dans son livre Runaround. Il y énonce les « trois règles de la robotique » qui deviendront par la suite « les trois lois de la robotique ».

I. 3.Historique:

- _ 1947 : Premier manipulateur électrique téléopéré.
- _ 1954 : Premier robot programmable.
- _ 1961 : Utilisation d'un robot industriel, commercialisé par la société Unimation (USA), sur une chaîne de montage de General Motors.
- _ 1961 : Premier robot avec contrôle en effort.
- _ 1963 : Utilisation de la vision pour commander un robot.

I. 4 . Utilisations des robots:

La robotique actuelle trouve des applications dans différents domaines :

la robotique industrielle.

la robotique domestique.

la robotique médicale ou encore.

la robotique militaire.....

Maintenant nous pouvons trouver des robots partout.

I.4.1.Industriel:

Les robots sont intensivement utilisés dans l'industrie, où ils effectuent sans relâche des tâches répétitives et avec rigueur. Dans les chaînes de montage de l'industrie automobile, ils y remplacent les ouvriers dans les tâches pénibles et dangereuses (peinture, soudage, emboutissage, etc.). Les robots industriels sont souvent munis de systèmes de vision qui leur procurent une souplesse d'exécution et des moyens de vérifier la qualité des produits fabriqués[12].



Figure I.2:Robot soudage

I.4.2.Médecine:

Ce que l'on nomme robot médical est en réalité, en 2009, plutôt un outil très performant, piloté par le médecin.

Le robot Da Vinci est un robot médical qui peut opérer et diagnostiquer les patients. 1242 exemplaires étaient utilisés dans le monde en juin 2009.

Le robot Cyberknife permet d'effectuer divers traitements de radiothérapie. Plus de 150 exemplaires étaient utilisés dans le monde début 2009.



figure I.3: Robot de chirurgie

Il existe également le robot Niobe de Stereotaxis qui permet de réaliser des procédures d'ablation par radiofréquence (brûler les voies anormales à l'intérieur du cœur) en électrophysiologie. 159 exemplaires sont déjà installés dans le monde et plus de 44 000 procédures ont déjà été effectuées depuis sa création (2002). [12]

I.4.3.Exploration spatiale:

Depuis Lunokhod 1, les scientifiques ont pris le parti d'envoyer des robots pour explorer le système solaire, dans des environnements souvent mortels pour l'homme.

Dans le cadre de la mission Mars Exploration Rover, les robots *Spirit* et *Opportunity* parcourent Mars pour transmettre les informations obtenues grâce à leur nombreux capteurs vers la Terre.



Figure I.4: Robot exploratoire sur Mars

L'autonomie d'un robot d'exploration spatiale est

obligatoire, et doit être d'autant plus grande qu'il est éloigné de la Terre, du fait du temps qui s'écoule entre l'envoi d'une commande depuis la Terre, et la réception de cette commande par le Robot. Celui-ci doit donc être capable de réagir tout seul aux événements qui peuvent surgir dans cet intervalle de temps. [12]

I. 4.4.Militaire:

Un robot militaire est un robot, autonome ou contrôlé à distance, conçu pour des applications militaires. Les drones sont une sous-classe des robots militaires.

Des systèmes sont déjà actuellement en service dans un certain nombre de forces armées, avec des succès remarquables, tel que le drone Predator, qui est capable de prendre des photographies de surveillance, et même à lancer des missiles au sol, pour les drones de combat. Les études se poursuivent car ce type d'engin offre des possibilités prometteuses. [12]



Figure I.5: Robot détecteur des mines

I.4.5.Loisirs:

Le secteur de la robotique ludique est en plein développement depuis 2009, principalement au Japon et en Corée du Sud.

Sony fut un précurseur sur le marché, avec son robot Aibo qui fut commercialisé de 1999 à 2006. Sony a depuis cessé tout développement de robots ludiques faute de rentabilité. En 2009, Aldebaran Robotics développe le Nao.

Le robosapient est un des robots ludiques les mieux vendus au monde en 2009, avec plus de cinq millions d'exemplaires. [12]



figure I.6:Robot drone

I. 4.6.Les premiers robots:

-Unimate est le premier robot industriel créé. Il fut intégré aux lignes d'assemblage de Général Motors en 1961

-En 1970, le robot lunaire Lunokhod 1, envoyé par l'Union soviétique, a voyagé sur une distance de 10 km et a transmis plus de 20 000 images.

A l'heure actuelle, on peut distinguer 3 générations de robots :

.a-Le robot est 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.

b. Le robot devient 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.

c. Le robot devient « intelligent » : Le robot est capable d'établir des stratégies, ce qui fait appel à des capteurs sophistiqués, et souvent à l'intelligence artificielle. [11]

I.5. Classification des robots:

On retiendra pour notre part 3 types de robot :

- 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.

- 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).

- Les robots :

- Les trajectoires peuvent être quelconques dans l'espace
- L'exécution est automatique,
- Les informations extéroceptives peuvent modifier le comportement du robot.

Pour cette dernière classe, on peut distinguer :

a. Les robots manipulateurs industriels, chargés de manipuler, soient :

Des pièces : Stockage – déstockage,
 Palettisation – dépalettisation,

Chargement – déchargement de machine outil,

Manipulation d'éprouvettes,

Assemblage de pièces, ...

Des outils :

Soudure en continu ou par points,

Peinture,

Collage,

Ebavurage, ...

I.6. 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 2 types de locomotion : Les robots marcheurs qui imitent la démarche humaine, et les robots mobiles qui ressemblent plus à des véhicules.

I.7. 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 (dextrous 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 de 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 élancement maximum), accélération.
- La masse du robot.
- Le coût du robot.
- La maintenance, ...

Chapter II

Description géométrique du robot Stäubli Rx-90

"The closer the laws of reality are not fixed, and the closer of stability has become unrealistic"

"ALBERT Einstein"

II.1.Introduction:

II.1.1. La robotique industrielle :

est officiellement définie par l'ISO comme un contrôle automatique, reprogrammable, polyvalent manipulateur programmable dans trois ou plusieurs axes.

Les applications typiques incluent des robots de soudage, de peinture et d'assemblage. La robotique industrielle inspecte les produits, rapidement et précisément.

Les robots industriels sont très utilisés en automobile. Leur conception nécessite une bonne connaissance et un très haut niveau dans le domaine de l'ingénierie

II.2.Définition:

Un robot industriel est un système polyarticulé à l'image d'un bras humain souvent composé de 6 degrés de liberté, 3 axes destinés au positionnement et 3 axes à l'orientation permettant de déplacer et d'orienter un outil (organe effecteur) dans un espace de travail donné. On peut distinguer

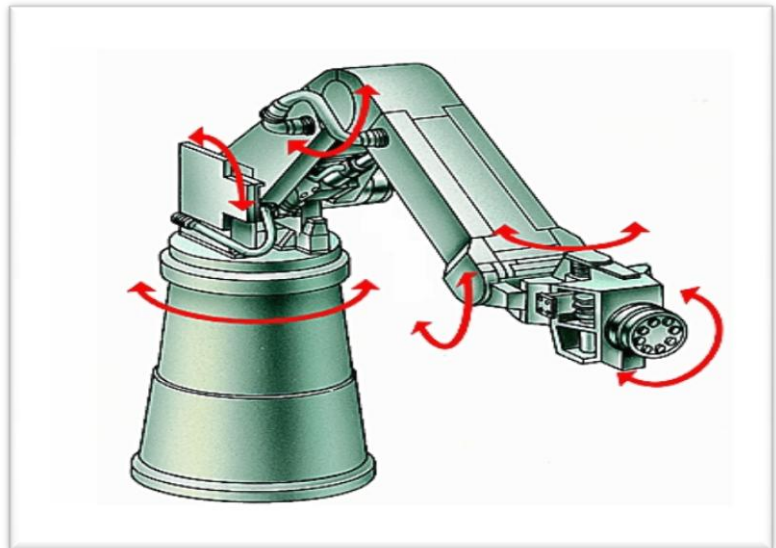


Figure II.1: Système robotisé industriel

les robots de peinture ou soudure largement utilisés dans l'industrie automobile les robots de montage de dimension souvent plus réduite, les robots mobiles destinés à l'inspection souvent associés à de l'intelligence artificielle et capables, dans certains cas, de prendre en compte l'environnement. Un robot se compose d'une partie mécanique, le bras lui-même, d'une armoire de commande composée d'une unité centrale qui pilote les électroniques de commande d'un ou plusieurs axes qui en assure l'asservissement, de variateurs de vitesse et d'un langage de programmation spécialisé qui permet de commander le robot (LM1 développé par l'Ensimag Grenoble, langage Adept type basic) qui intègre un transformateur de coordonnées pour transformer une valeur cartésienne en données codeur du moteur. Certains

robots disposent d'un mode d'apprentissage qui permet de répéter les mouvements réalisés librement à la main, l'élément essentiel étant la fidélité² la capacité du robot à atteindre

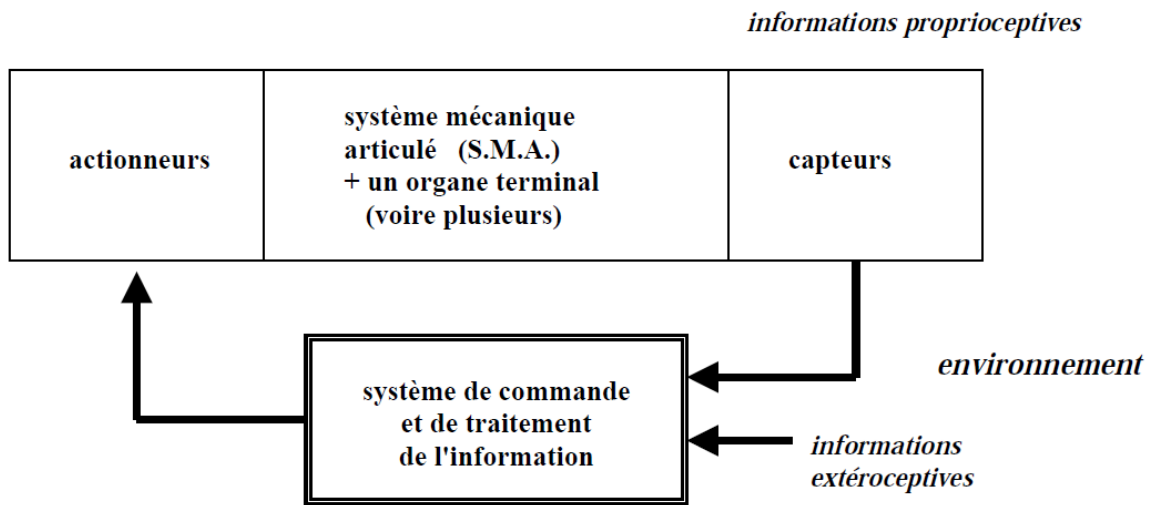
successivement la même position dans une tolérance définie, une procédure de calibration permet de reprendre le zéro de chacun des axes. Ils peuvent être associés à un système de vision artificielle qui leur permet de corriger les déplacements. Pour des raisons de sécurité, ces robots sont protégés par des cages ou des carters pour interdire à l'homme de les approcher de trop près. La diffusion et amélioration des techniques robotiques permet de faire fonctionner des usines dans le noir.

Vocabulaire :



Figure II.2: Constituants d'un robot industriel

-On distingue classiquement 4 parties principales dans un robot manipulateur :



II.3.Description générale d'un robot Stäubli Rx-90



Figure II.3 :ROBOT STÄUBLI RX 90

Les robots de la famille RX série 90 sont du type polyarticulé à 6 degrés de liberté. Ils se composent, voir figure ci-dessous, d'un organe mécanique bras (A à F) et d'une baie de commande (H) (voir documentation « Caractéristiques Baie de Commande CS7 » pour plus détails), le tout étant relié par un câble de liaison (G).

Le bras est constitué de segments reliés entre eux par des articulations. Chaque articulation constitue un axe autour duquel deux segments pivotent. Les mouvements des articulations du robot sont générés par des servomoteurs (moteurs asservis) sans balais, couplés à des résolveurs (capteurs de précision). Les différents éléments du bras du robot sont le pied (A), l'épaule (B), le bras (C), le coude (D), l'avant-bras

(E) et le poignet (F) (voir figure ci-dessous). L'ensemble bras du robot contient la motorisation, les freins, les mécanismes de transmission du mouvement, le faisceau de câbles, les circuits pneumatique et électrique pour l'utilisateur et le système d'équilibrage (effectué par un système intégré de ressorts) du bras. [3].

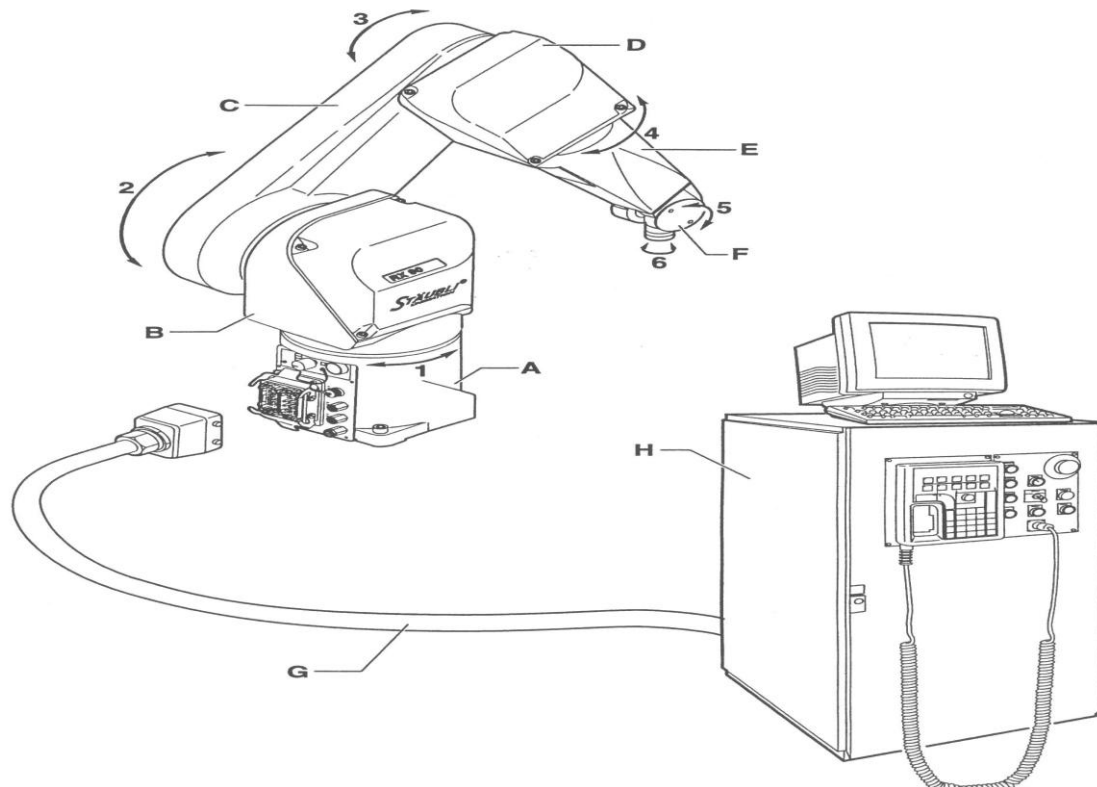


Figure II.4: system robot STÄUBLI RX 90

II.4.Quelques caractéristiques du robot RX 90 :

Nombre de degrés de liberté	4, 5 ou 6
Charge transportable nominal	6kg
Charge transportable maximal	12kg
Rayon d'action	985mm
Répétabilité	+/-0,02mm
Langage de programmation	V+

Tableau1 [3].

Axe	1	2	3	4	5	6
Amplitude	320 (+/- 160)	275 (+/- 137,5)	285 (+/- 142,5)	240 (+/- 270)	225 (+120/- 105)	540 (+/- 270)
Vitesse nominale(°/S)	236	200	286	401	320	580
Vitesse maximale(°/S)	356	356	296	409	480	1125

Tableau 2 [3].

N.B. : Les amplitudes (°) indiquées ci-dessus sont exprimées relativement à la configuration initiale du robot (issue d'une commande READY). [3].

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

Le système mécanique articulé (S.M.A.) est un mécanisme ayant une structure plus ou moins proche de celle du bras humain. Il permet de remplacer, ou de prolonger, son action (le terme "manipulateur" exclut implicitement les robots mobiles autonomes)³. Son rôle est d'amener l'organe terminal dans une situation (position et orientation) donnée, selon des caractéristiques de vitesse et d'accélération données. Son architecture est une chaîne cinématique de corps, généralement rigides (ou supposés comme tels), assemblés par des liaisons appelées articulations. Sa motorisation est réalisée par des actionneurs électriques, pneumatiques ou hydrauliques qui transmettent leurs mouvements aux articulations par des systèmes appropriés.

Précisons la notion d'articulation : Une articulation lie deux corps successifs en limitant le nombre de degré de liberté de l'un par rapport à l'autre. Soit m le nombre de degré de

liberté résultant, encore appelé mobilité de l'articulation. La mobilité d'une articulation est telle que :

$$0 \leq m \leq 6$$

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

Soit rotoïde, soit prismatique.

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



Figure II.5: Symbole de l'articulation rotoïde

II.5. 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 [4], [5],[6], [7], [8], [9]. La plus répandue est celle de Denavit-Hartenberg [Denavit8]. Mais cette méthode, développée pour des structures ouvertes simples, présente des ambiguïtés lorsqu'elle est appliquée sur des robots ayant des structures fermées ou arborescentes. C'est pourquoi, nous préconisons la notation de Khalil et Kleinfinger qui permet la description homogène, et avec un nombre minimum de paramètres, des architectures ouvertes simples et complexes de systèmes mécaniques articulés [10]. 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 j connecte le corps C_j au corps C_{j-1} (figure 10). 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 R_j est lié au corps C_j ;

- l'axe z_j est porté par l'axe de l'articulation j ;
- l'axe x_j est porté par la perpendiculaire commune aux axes z_j et z_{j+1} . Si les axes z_j et z_{j+1} sont parallèles ou colinéaires, le choix de x_j n'est pas unique : des considérations de symétrie ou de simplicité permettent alors un choix rationnel

.Le passage du repère R_{j-1} au repère R_j s'exprime en fonction des quatre paramètres géométriques suivants (figure 11) :

- a_j : angle entre les axes z_{j-1} et z_j correspondant à une rotation autour de x_{j-1} ;
- d_j : distance entre z_{j-1} et z_j le long de x_{j-1} ;
- q_j : angle entre les axes x_{j-1} et x_j correspondant à une rotation autour de z_j ;
- r_j : distance entre x_{j-1} et x_j le long de z_j .

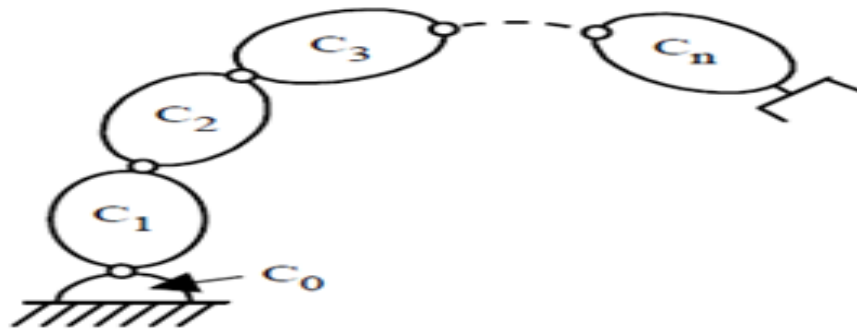


Figure II.6: Robot à structure ouverte simple

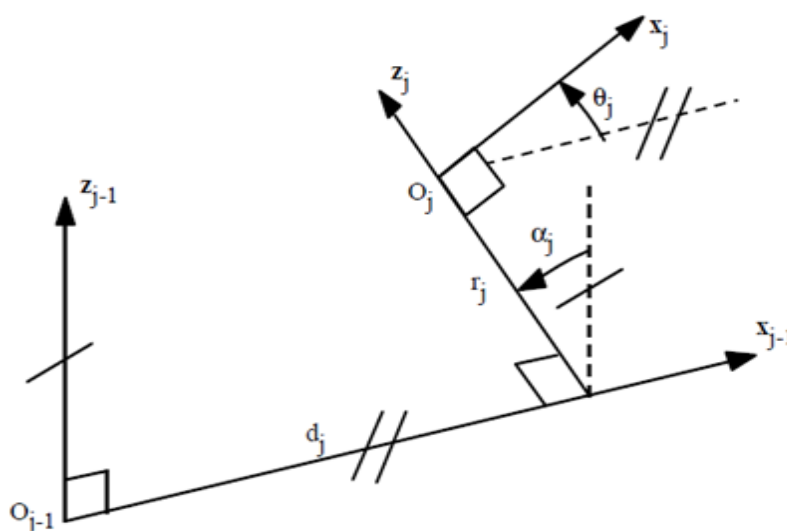


Figure II.7: Paramètres géométriques dans le cas d'une structure ouverte simple.

Bases de la modélisation et de la commande des robots-manipulateurs de type série 3

La variable articulaire q_j associée à la jème articulation est soit q_j , soit r_j , selon que cette articulation est de type rotoïde ou prismatique, ce qui se traduit par la relation:

$q_j = s_j q_j + r_j r_j$. avec :

$\sigma_j = 0$ si l'articulation j est rotoïde;

$\sigma_j = 1$ si l'articulation j est prismatique;

$\overline{\sigma_j} = 1 - \sigma_j$

La matrice de transformation définissant le repère R_j dans le repère R_{j-1} est donnée par (figure11):

$${}^{j-1}T_j = Rot(x, \alpha_j) Trans(x, d_j) Rot(z, \theta_j) Trans(z, r_j) \dots [1]$$

$$= \begin{bmatrix} C\theta_j & -S\theta_j & 0 & d_j \\ C\alpha_j S\theta_j & C\alpha_j C\theta_j & -S\alpha_j & -r_j S\alpha_j \\ S\alpha_j S\theta_j & S\alpha_j C\theta_j & C\alpha_j & r_j C\alpha_j \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

où **Rot(u, α)** et **Trans(u, d)** sont des matrices de transformation homogène (4x4) représentant respectivement une rotation α autour de l'axe u et une translation d le long de u.

-pour la définition du repère de référence R_0 , le choix le plus simple consiste à prendre R_0 confondu avec le repère R_1 quand $q_1 = 0$, ce qui signifie que z_0 est confondu avec z_1 et $O_0 = O_1$ lorsque l'articulation 1 est rotoïde, et z_0 est confondu avec z_1 et x_0 est parallèle à x_1 lorsque l'articulation 1 est prismatique. Ce choix rend les paramètres α_1 et d_1 nuls ; – de même, on définit l'axe x_n du repère R_n comme étant colinéaire à x_{n-1} lorsque $q_n = 0$; – pour une articulation j prismatique, l'axe z_j est parallèle à l'axe de l'articulation mais la position de cet axe dans l'espace peut être quelconque : on le place donc de telle sorte que d_j ou d_{j+1} soit nul ;

l'espace peut être quelconque : on le place donc de telle sorte que d_j ou d_{j+1} soit nul ;

– lorsque z_j est parallèle à z_{j+1} , on place x_j de telle sorte que r_j ou r_{j+1} soit nul ;

– en pratique, le vecteur des variables articulaires **q** est donné par :

$$\mathbf{q} = \mathbf{q}_c + \mathbf{q}_0$$

où q_0 représente un décalage et q_c sont les variables codeurs.

Description de la géométrie du robot Stäubli RX-90 (figure 12) la cinématique du porteur est de type anthropomorphe RRR et le poignet comporte trois rotations d'axes concourants, équivalentes à une rotule. D'un point de vue méthodologique, on place d'abord les axes z_j sur les axes articulaires, puis les axes x_j selon les règles énoncées précédemment. On détermine ensuite les paramètres géométriques du robot. Le placement des repères est indiqué sur la figure(12) et les paramètres géométriques sont donnés dans le tableau(3).

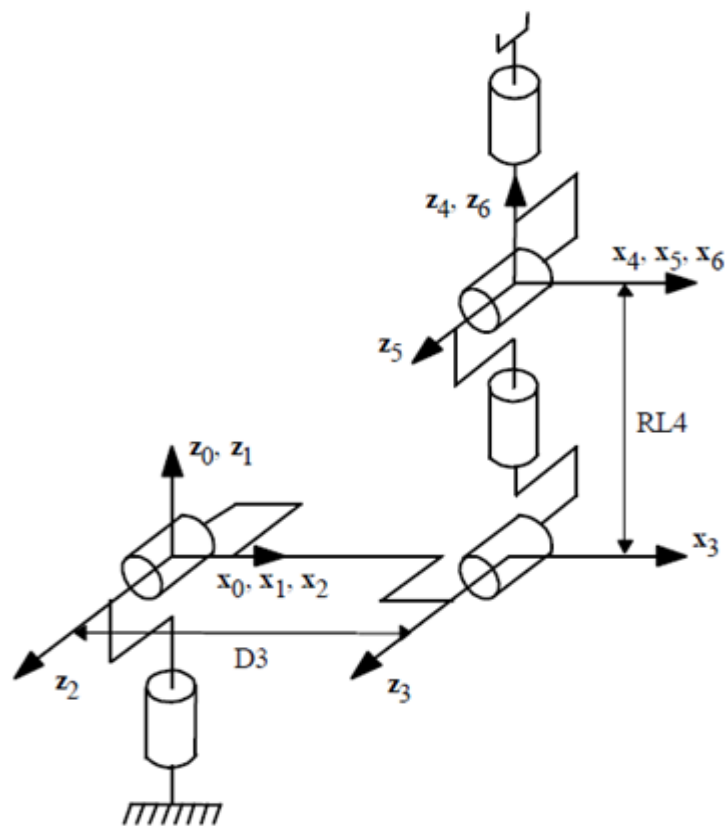


Figure II.8: Paramètres de repères et notation pour le robot Stäubli RX-90

J	σ_j	α_j	d_j	θ_j	r_j
1	0	0	0	θ_1	0
2	0	$\pi / 2$	0	θ_2	0
3	0	0	D3	θ_3	0
4	0	$-\pi / 2$	0	θ_4	RL4
5	0	$\pi / 2$	0	θ_5	0
6	0	$-\pi / 2$	0	θ_6	0

Tableau(3): Paramètre géométriques du robot Stäubli RX-90

Chapter III

Modèle géométrique direct

"A person who never made a mistake never tried anything new "

"ALBERT Einstein"

III.1 Modélisation

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 le quel est définie la situation de l'organe terminal) et l'espace articulaire (dans le quel est définie la configuration du robot). On distingue :
- les modèles géométriques direct et inverse qui expriment la situation de l'organe terminal en fonction des variables articulaires du mécanisme et inversement ;
- les modèles cinématiques direct et inverse qui expriment la vitesse de l'organe terminal en fonction des vitesses articulaires et inversement ;
- les modèles dynamiques définissant les équations du mouvement du robot, qui permettent d'établir les relations entre les couples ou forces exercés par les actionneurs et les positions, vitesses et accélérations des articulations. On présente dans ce chapitre quelques méthodes permettant d'établir ces modèles. On se limitera au cas des robots à structure ouverte simple. Pour les robots à structure complexe, arborescente ou fermée, on renvoie le lecteur à [02].

Le formalisme mathématique fait appel aux matrices de transformation homogènes de dimension (4x4). La matrice homogène ${}^i T_j$ représente la transformation permettant de passer du repère R_i au repère R_j :

$${}^i T_j = \begin{bmatrix} {}^i A_j & {}^i P_j \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} {}^i s_j & {}^i n_j & {}^i a_j & {}^i P_j \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad [2]$$

où ${}^i s_j$, ${}^i n_j$ et ${}^i a_j$ désignent respectivement les vecteurs unitaires suivant les axes x_j , y_j et z_j du repère R_j exprimés dans le repère R_i , et où ${}^i P_j$ est le vecteur exprimant l'origine du repère R_j dans le repère R_i . Les vecteurs ${}^i s_j$, ${}^i n_j$, ${}^i a_j$ de la matrice d'orientation ${}^i A_j$ sont les cosinus directeurs.

III.2.Modélisation géométrique:

III.2.1. Modèle géométrique direct:

Le modèle géométrique direct (MGD) est un modèle mécanique utilisé en robotique pour les bras manipulateurs.

Présentation:

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

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

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

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

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

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 0T_n ;

$${}^0T_n = {}^0T_1(q_1) {}^1T_2(q_2) \dots {}^{n-1}T_n(q_n) \quad [3]$$

Le modèle géométrique direct du robot peut aussi être représenté par la relation :

$$X = f(q) \quad [4]$$

$\mathbf{q}$ étant le vecteur des variables articulaires tel que :

$$\mathbf{q} = [q_1 \quad q_2 \dots q_n]^T \quad [5]$$

Les coordonnées opérationnelles sont définies par :

$$\mathbf{X} = [X_1 \quad X_2 \dots X_m]^T \quad [6]$$

Plusieurs possibilités existent pour la définition du vecteur $\mathbf{X}$. Par exemple, avec les éléments de la matrice Plusieurs possibilités Bases de la modélisation et de la commande des robots-manipulateurs de type série 6

$$\mathbf{X} = [P_x \quad P_y \quad P_z \quad S_x \quad S_y \quad S_z \quad n_x \quad n_y \quad n_z \quad a_x \quad a_y \quad a_z]^T \quad [7]$$

ou bien, sachant que $\mathbf{s} = \mathbf{n} \times \mathbf{a}$

$$\mathbf{X} = [P_x \quad P_y \quad P_z \quad n_x \quad n_y \quad n_z \quad a_x \quad a_y \quad a_z]^T \quad [8]$$

Pour les rotations, d'autres représentations sont couramment utilisées comme les angles d'Euler, les angles de Roulis-Tangage-Lacet (RTL) ou les paramètres d'Euler (quaternions). On peut facilement passer des cosines directeurs $\mathbf{s}$, $\mathbf{n}$, $\mathbf{a}$ à l'une quelconque de ces représentations et inversement [2].

Annex(A)

Le modèle géométrique direct et inverse d'un robot à chaîne ouverte simple:

Robot Staubli Rx90.

```
> restart;
```

```
> with(linalg):
```

Warning, the protected names norm and trace have been redefined and unprotected

modèle géométrique direct

```
>
```

```
> n:=6;
```

$n := 6$

```
> i:=0;
```

$i := 0$

Les paramètres de Denavit-Hartenberg:

```
> DH:=matrix([[0,0,0,theta1,0],[0,Pi/2,0,theta2,0],[0,0,D3,theta3,0],[0,-Pi/2,0,theta4,RL4],[0,Pi/2,0,theta5,0],[0,-Pi/2,0,theta6,0]]);
```

$$DH := \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & \theta_1 & 0 \\ 0 & \frac{1}{2}\pi & 0 & \theta_2 & 0 \\ 0 & 0 & D3 & \theta_3 & 0 \\ 0 & -\frac{1}{2}\pi & 0 & \theta_4 & RL4 \\ 0 & \frac{1}{2}\pi & 0 & \theta_5 & 0 \\ 0 & -\frac{1}{2}\pi & 0 & \theta_6 & 0 \end{bmatrix}$$

Calcul des matrices de passage intermédiaires:

T(1),T(2),...,T(6).

```
> for j from 1 to n do
```

```
  T(j):=matrix([cos(DH[j,4]),-sin(DH[j,4]),0,DH[j,3]],[cos(DH[j,2])*sin(DH[j,4]),cos(DH[j,2])*cos(DH[j,4]),-sin(DH[j,2]),-DH[j,5]*sin(DH[j,2])],[sin(DH[j,2])*sin(DH[j,4]),sin(DH[j,2])*cos(DH[j,4]),cos(DH[j,2]),DH[j,5]*cos(DH[j,2])],[0,0,0,1]]);
```

```
> end do;
```

$$\begin{aligned}
 T(1) &:= \begin{bmatrix} \cos(\theta 1) & -\sin(\theta 1) & 0 & 0 \\ \sin(\theta 1) & \cos(\theta 1) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \\
 T(2) &:= \begin{bmatrix} \cos(\theta 2) & -\sin(\theta 2) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 \\ \sin(\theta 2) & \cos(\theta 2) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \\
 T(3) &:= \begin{bmatrix} \cos(\theta 3) & -\sin(\theta 3) & 0 & D3 \\ \sin(\theta 3) & \cos(\theta 3) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \\
 T(4) &:= \begin{bmatrix} \cos(\theta 4) & -\sin(\theta 4) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & RL4 \\ -\sin(\theta 4) & -\cos(\theta 4) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \\
 T(5) &:= \begin{bmatrix} \cos(\theta 5) & -\sin(\theta 5) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 \\ \sin(\theta 5) & \cos(\theta 5) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \\
 T(6) &:= \begin{bmatrix} \cos(\theta 6) & -\sin(\theta 6) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ -\sin(\theta 6) & -\cos(\theta 6) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}
 \end{aligned}$$

Cacul des matrices de passage globales:

U(6),U(5),....U(1).

>
> U(6) := T(6) ;

$$U(6) := \begin{bmatrix} \cos(\theta 6) & -\sin(\theta 6) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ -\sin(\theta 6) & -\cos(\theta 6) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

```
> for j from n-1 by -1 to 1 do
> U(j) := multiply(T(j), U(j+1)); end do;
>
```

$$U(5) := \begin{bmatrix} \cos(\theta 5) \cos(\theta 6) & -\cos(\theta 5) \sin(\theta 6) & -\sin(\theta 5) & 0 \\ \sin(\theta 6) & \cos(\theta 6) & 0 & 0 \\ \sin(\theta 5) \cos(\theta 6) & -\sin(\theta 5) \sin(\theta 6) & \cos(\theta 5) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

```
U(4) := [
[cos(θ4) cos(θ5) cos(θ6) - sin(θ4) sin(θ6), -cos(θ4) cos(θ5) sin(θ6) - sin(θ4) cos(θ6), -cos(θ4) sin(θ5), 0],
[sin(θ5) cos(θ6), -sin(θ5) sin(θ6), cos(θ5), RL4],
[-sin(θ4) cos(θ5) cos(θ6) - cos(θ4) sin(θ6), sin(θ4) cos(θ5) sin(θ6) - cos(θ4) cos(θ6), sin(θ4) sin(θ5), 0],
[0, 0, 0, 1]]
```

```
U(3) := [[cos(θ3) (cos(θ4) cos(θ5) cos(θ6) - sin(θ4) sin(θ6)) - sin(θ3) sin(θ5) cos(θ6),
cos(θ3) (-cos(θ4) cos(θ5) sin(θ6) - sin(θ4) cos(θ6)) + sin(θ3) sin(θ5) sin(θ6),
-cos(θ3) cos(θ4) sin(θ5) - sin(θ3) cos(θ5), -sin(θ3) RL4 + D3], [
sin(θ3) (cos(θ4) cos(θ5) cos(θ6) - sin(θ4) sin(θ6)) + cos(θ3) sin(θ5) cos(θ6),
sin(θ3) (-cos(θ4) cos(θ5) sin(θ6) - sin(θ4) cos(θ6)) - cos(θ3) sin(θ5) sin(θ6),
-sin(θ3) cos(θ4) sin(θ5) + cos(θ3) cos(θ5), cos(θ3) RL4],
[-sin(θ4) cos(θ5) cos(θ6) - cos(θ4) sin(θ6), sin(θ4) cos(θ5) sin(θ6) - cos(θ4) cos(θ6), sin(θ4) sin(θ5), 0],
[0, 0, 0, 1]]
```

```
U(2) := [[cos(θ2) (cos(θ3) (cos(θ4) cos(θ5) cos(θ6) - sin(θ4) sin(θ6)) - sin(θ3) sin(θ5) cos(θ6))
-sin(θ2) (sin(θ3) (cos(θ4) cos(θ5) cos(θ6) - sin(θ4) sin(θ6)) + cos(θ3) sin(θ5) cos(θ6)), cos(θ2) (cos(θ3)
(-cos(θ4) cos(θ5) sin(θ6) - sin(θ4) cos(θ6)) + sin(θ3) sin(θ5) sin(θ6))
-sin(θ2) (sin(θ3) (-cos(θ4) cos(θ5) sin(θ6) - sin(θ4) cos(θ6)) - cos(θ3) sin(θ5) sin(θ6)),
cos(θ2) (-cos(θ3) cos(θ4) sin(θ5) - sin(θ3) cos(θ5)) - sin(θ2) (-sin(θ3) cos(θ4) sin(θ5) + cos(θ3) cos(θ5)
cos(θ2) (-sin(θ3) RL4 + D3) - sin(θ2) cos(θ3) RL4],
[sin(θ4) cos(θ5) cos(θ6) + cos(θ4) sin(θ6), -sin(θ4) cos(θ5) sin(θ6) + cos(θ4) cos(θ6), -sin(θ4) sin(θ5), (
], [sin(θ2) (cos(θ3) (cos(θ4) cos(θ5) cos(θ6) - sin(θ4) sin(θ6)) - sin(θ3) sin(θ5) cos(θ6))
+ cos(θ2) (sin(θ3) (cos(θ4) cos(θ5) cos(θ6) - sin(θ4) sin(θ6)) + cos(θ3) sin(θ5) cos(θ6)), sin(θ2) (cos(θ
(-cos(θ4) cos(θ5) sin(θ6) - sin(θ4) cos(θ6)) + sin(θ3) sin(θ5) sin(θ6))
+ cos(θ2) (sin(θ3) (-cos(θ4) cos(θ5) sin(θ6) - sin(θ4) cos(θ6)) - cos(θ3) sin(θ5) sin(θ6)),
sin(θ2) (-cos(θ3) cos(θ4) sin(θ5) - sin(θ3) cos(θ5)) + cos(θ2) (-sin(θ3) cos(θ4) sin(θ5) + cos(θ3) cos(θ5)
sin(θ2) (-sin(θ3) RL4 + D3) + cos(θ2) cos(θ3) RL4], [0, 0, 0, 1]]
```

```
U(1) := [[cos(θ1) (cos(θ2) (cos(θ3) (cos(θ4) cos(θ5) cos(θ6) - sin(θ4) sin(θ6)) - sin(θ3) sin(θ5) cos(θ6))
-sin(θ2) (sin(θ3) (cos(θ4) cos(θ5) cos(θ6) - sin(θ4) sin(θ6)) + cos(θ3) sin(θ5) cos(θ6)))
-sin(θ1) (sin(θ4) cos(θ5) cos(θ6) + cos(θ4) sin(θ6)), cos(θ1) (cos(θ2) (cos(θ3) (-cos(θ4) cos(θ5) sin(θ6)
-sin(θ4) cos(θ6)) + sin(θ3) sin(θ5) sin(θ6))
-sin(θ2) (sin(θ3) (-cos(θ4) cos(θ5) sin(θ6) - sin(θ4) cos(θ6)) - cos(θ3) sin(θ5) sin(θ6)))
-sin(θ1) (-sin(θ4) cos(θ5) sin(θ6) + cos(θ4) cos(θ6)), cos(θ1) (cos(θ2) (-cos(θ3) cos(θ4) sin(θ5)
-sin(θ3) cos(θ5)) - sin(θ2) (-sin(θ3) cos(θ4) sin(θ5) + cos(θ3) cos(θ5))) + sin(θ1) sin(θ4) sin(θ5),
```

```

cos(theta1) (cos(theta2) (-sin(theta3) RL4 + D3) - sin(theta2) cos(theta3) RL4)], [sin(theta1) (cos(theta2) (cos(theta3) (cos(theta4) cos(theta.
cos(theta6) - sin(theta4) sin(theta6)) - sin(theta3) sin(theta5) cos(theta6))
- sin(theta2) (sin(theta3) (cos(theta4) cos(theta5) cos(theta6) - sin(theta4) sin(theta6)) + cos(theta3) sin(theta5) cos(theta6)))
+ cos(theta1) (sin(theta4) cos(theta5) cos(theta6) + cos(theta4) sin(theta6)), sin(theta1) (cos(theta2) (cos(theta3) (
-cos(theta4) cos(theta5) sin(theta6) - sin(theta4) cos(theta6)) + sin(theta3) sin(theta5) sin(theta6))
- sin(theta2) (sin(theta3) (-cos(theta4) cos(theta5) sin(theta6) - sin(theta4) cos(theta6)) - cos(theta3) sin(theta5) sin(theta6)))
+ cos(theta1) (-sin(theta4) cos(theta5) sin(theta6) + cos(theta4) cos(theta6)), sin(theta1) (cos(theta2) (-cos(theta3) cos(theta4) sin(theta5)
- sin(theta3) cos(theta5)) - sin(theta2) (-sin(theta3) cos(theta4) sin(theta5) + cos(theta3) cos(theta5))) - cos(theta1) sin(theta4) sin(theta5),
sin(theta1) (cos(theta2) (-sin(theta3) RL4 + D3) - sin(theta2) cos(theta3) RL4)], [sin(theta2) (cos(theta3) (cos(theta4) cos(theta5) cos(theta6)
- sin(theta4) sin(theta6)) - sin(theta3) sin(theta5) cos(theta6))
+ cos(theta2) (sin(theta3) (cos(theta4) cos(theta5) cos(theta6) - sin(theta4) sin(theta6)) + cos(theta3) sin(theta5) cos(theta6)), sin(theta2) (cos(theta3)
(-cos(theta4) cos(theta5) sin(theta6) - sin(theta4) cos(theta6)) + sin(theta3) sin(theta5) sin(theta6))
+ cos(theta2) (sin(theta3) (-cos(theta4) cos(theta5) sin(theta6) - sin(theta4) cos(theta6)) - cos(theta3) sin(theta5) sin(theta6)),
sin(theta2) (-cos(theta3) cos(theta4) sin(theta5) - sin(theta3) cos(theta5)) + cos(theta2) (-sin(theta3) cos(theta4) sin(theta5) + cos(theta3) cos(theta5)
sin(theta2) (-sin(theta3) RL4 + D3) + cos(theta2) cos(theta3) RL4], [0, 0, 0, 1]]

```

```

> U(7):=matrix([[1,0,0,0],[0,1,0,0],[0,0,1,0],[0,0,0,1]]);

```

$$U(7) := \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

```

>

```

```

clc;
close all;
clear all;
figure
for t=0:0.4:2*pi
    RL4=5;D3=10;
    W=t;r=30;
    px=-cos(W); py=-sin(W);pz=cos(W);
    sx=-sin(W); sy=cos(W); sz=cos(W);
    nx=cos(W); ny=sin(W); nz=-5;
    ax=0;ay=0;az=5;
    q(1)=atan(py/px);
    q(2)=-atan((cos(q(1))*px+sin(q(1))*py)/pz);
    q(3)=-RL4+sin(q(2))*cos(q(1))*px+sin(q(2))*sin(q(1))*py-
cos(q(2))*pz;
    q(4)=atan((sin(q(1))*ax-
cos(q(1))*ay)/(cos(q(1))*cos(q(2))*ax+sin(q(1))*cos(q(2))*ay+
sin(q(2))*az));

    q(5)=atan2((cos(q(4))*cos(q(1))*cos(q(2))*ax+cos(q(4))*sin(q(1))
)*cos(q(2))*ay+cos(q(4))*sin(q(2))*az+sin(q(4))*sin(q(1))*ax-
sin(q(4))*cos(q(1))*ay),(cos(q(1))*sin(q(2))*ax+sin(q(1))*sin(
q(2))*ay-cos(q(2))*az));

    q(6)=atan((tan(q(4))*cos(q(1))*cos(q(2))*sx+tan(q(4))*sin(q(1))
)*cos(q(2))*sy+tan(q(4))*sin(q(2))*sz-
sin(q(1))*sx+cos(q(1))*sy)/(tan(q(4))*cos(q(1))*cos(q(2))*nx+t
an(q(4))*sin(q(1))*cos(q(2))*ny+tan(q(4))*sin(q(2))*nz-
sin(q(1))*nx+cos(q(1))*ny));
    HD=[0 0 0 q(1) 0;
        0 pi/2 0 q(2) 0;
        0 0 D3 q(3) 0;
        0 -pi/2 0 q(4) RL4;
        0 pi/2 0 q(5) 0;
        0 -pi/2 0 q(6) 0]
    for i =1 : 6
        T(:, :, i)=[cos(HD(i,4)) -sin(HD(i,4)) 0 HD(i,3);
                    (cos(HD(i,2))*sin(HD(i,4)))
(cos(HD(i,2))*cos(HD(i,4)) -sin(HD(i,2)) -
(HD(i,5)*sin(HD(i,2))));
                    sin(HD(i,2))*sin(HD(i,4))
(sin(HD(i,2))*cos(HD(i,4)) cos(HD(i,2))
(HD(i,5)*cos(HD(i,2))));
                    0 0 0 1];
    end
    T

    U(:, :, 1)=T(:, :, 1);
    U(:, :, 1)
    for j=2:6

```

```

        U(:, :, j) = U(:, :, j-1) * T(:, :, j);
    end
    U

    k=1;
    g(:, :, k) = [0, 0, -15;
        0, 0, 0;
        U(1, 4, 1), U(2, 4, 1), U(3, 4, 1);
        U(1, 4, 2), U(2, 4, 2), U(3, 4, 2);
        U(1, 4, 3), U(2, 4, 3), U(3, 4, 3);
        U(1, 4, 4), U(2, 4, 4), U(3, 4, 4);
        U(1, 4, 4) + U(1, 1, 6), U(2, 4, 4) + U(2, 1, 6), U(3, 4, 4) + U(3, 1, 6);
        U(1, 4, 4), U(2, 4, 4), U(3, 4, 4);
        U(1, 4, 4) + U(1, 2, 6), U(2, 4, 4) + U(2, 2, 6), U(3, 4, 4) + U(3, 2, 6);
        U(1, 4, 4), U(2, 4, 4), U(3, 4, 4);

    U(1, 4, 4) + U(1, 3, 6), U(2, 4, 4) + U(2, 3, 6), U(3, 4, 4) + U(3, 3, 6)];
    hh1 = plot3(g(:, 1, k), g(:, 2, k), g(:, 3, k));
    set(hh1, 'linewidth', 2, 'color', 'm')
    grid on;
    hold on;
end

```

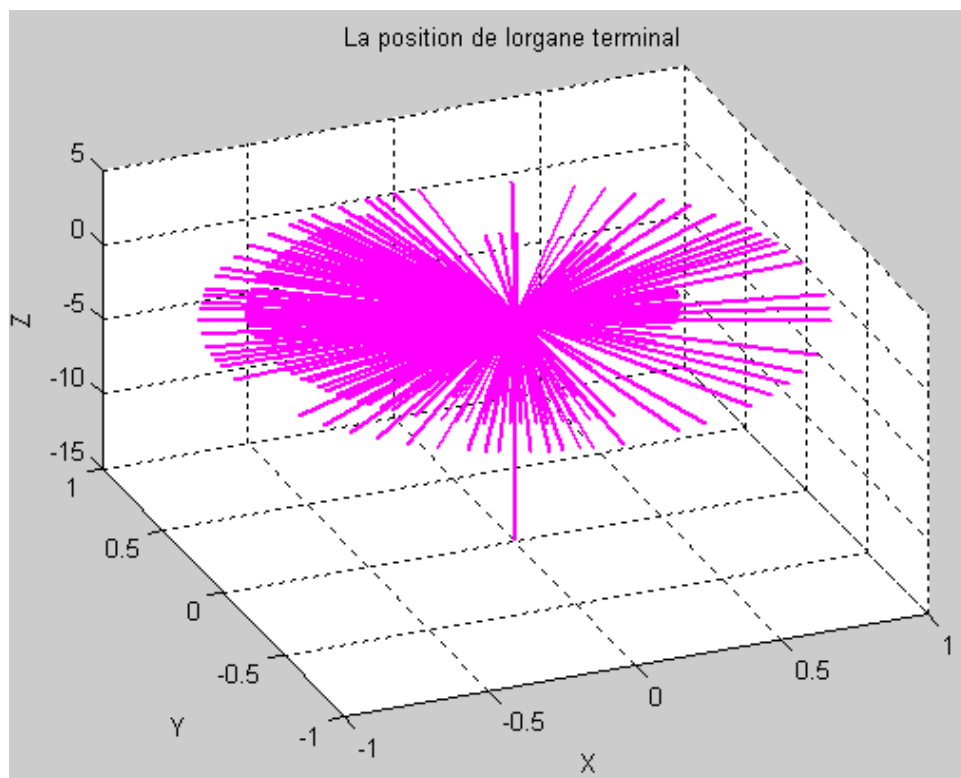
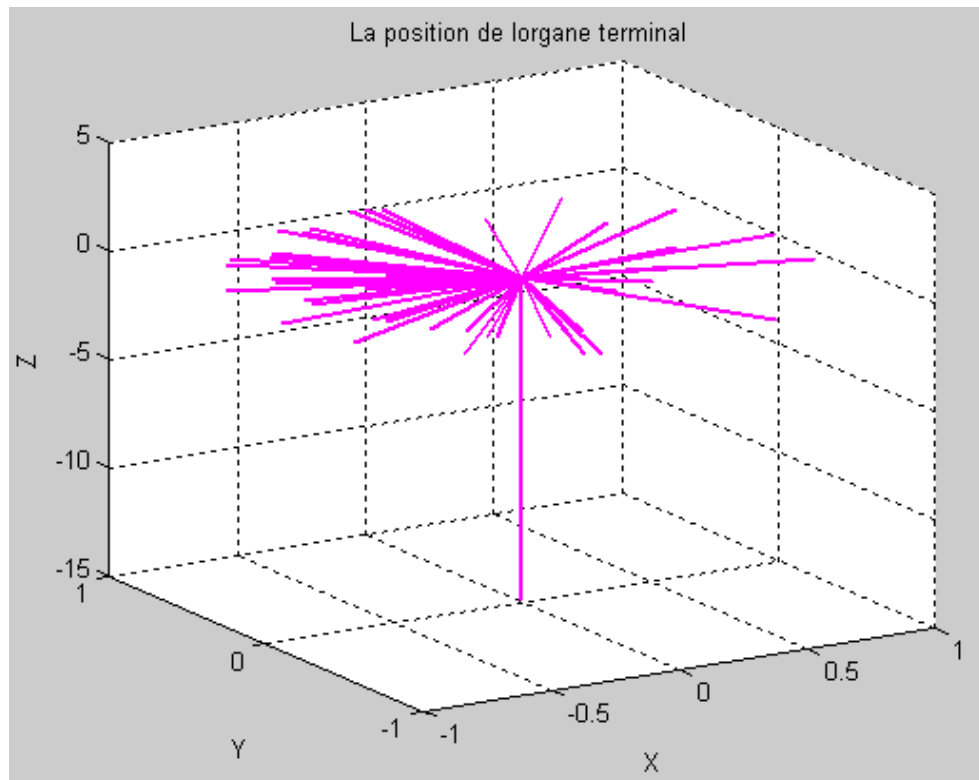


Figure Z: Montre la position de l'organe terminal

Nous avons dans cette partie en utilisant le programme de Maple pour calculer le modèle géométrique final du robot et la superficie totale de MATLAB, pour montrer son travail.

Conclusion générale

Nous avons montré dans ce mémoire ,comment calculer le modèle géométrique direct du robot stuabli RX-90 à structure ouvert simple. La méthode de description réutilise des règles qui ont une logique intrinsèque facilitant leur applications.

Nous avons présente la méthode la plus fréquemment utilisées robotique.

Partant de la connaissance du méthode géométrique direct, le problème inverse qui consiste à ,calculer les variables articulaires en fonctions des cordonnées opérationnelles du repère lié à l'organe terminal.(voir figure Z).

Références bibliographiques

- [1] Cours modelisationdes robots université ABOU-BEKR BELKAID-TLEMCEN
- [2] Document Wisama Khalil-Dombre_Modelisation
- [3] Cours robotique ISTIA, Université Angers Jean-Louis Boimond
- [4] Denavit J., Hartenberg R.S., "A kinematic notation for lower pair mechanism based on matrices", Trans. Of ASME, J. of Applied Mechanics, Vol. 22, juin 1955, p. 215-221.
- [5] Sheth P.N., Uicker J.J., "A generalized symbolic notation for mechanism", Trans. of ASME, J. of Engineering for Industry, Vol. 93, 1971, p. 102-112.
- [6] Renaud M., "Contribution à l'étude de la modélisation et de la commande des systèmes mécaniques articulés",Thèse de Docteur-Ingénieur, UPS, Toulouse, déc. 1975.
- [7] Khalil W., "Modélisation et commande par ordinateur du manipulateur MA-23 ; extension à la conception par ordinateur des manipulateurs", Thèse de Docteur-Ingénieur, USTL, Montpellier, sept. 1976.
- [8] Borrel P., "Modèle de comportement de manipulateurs ; application à l'analyse de leurs performances et à leur commande automatique", Thèse de Troisième Cycle, USTL, Montpellier, déc. 1979.
- [9] Craig J.J., *Introduction to robotics: mechanics and control*, Addison Wesley Publishing Company, Reading,1986.
- [10] Khalil W., Kleinfinger J.-F., "A new geometric notation for open and closed-loop robots", Proc. IEEE Int. Conf.on Robotics and Automation, San Francisco, avril 1986, p. 1174-1180.

Site web

- [11] fr.wikipedia.org/wiki/Robot
- [12] fr.wikipedia.org/wiki/Usage_des_robots

Références bibliographiques

[1] document Wisama Khalil-Dombre_Modelisation

[2] cours robotique ISTIA, Université Angers Jean-Louis Boimond

Site web:

www.fr.wikipedia.org/wiki/Robot

Mémoire:

CHAAL MEROUANE Modélisation cinématique d'un robot manipulateur à chaine continue ouverte 2013.

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ