

RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITÉ IBN-KHALDOUN DE TIARET

FACULTÉ DES SCIENCES APPLIQUEES
DÉPARTEMENT DE GENIE ELECTRIQUE



MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

Pour l'obtention du diplôme de Master

Domaine : Sciences et Technologie

Filière : Génie Electrique

Spécialité : informatique industrielle

THÈME

MODELISATION GEOMITRIQUE D'UN BRAS MANIPULATEUR DE TYPE SCARA

Préparé par : Kasmi Hicham

Brik Youcef

Devant le Jury :

Nom et prénoms	Grade	Qualité
BELHADJI Youcef	MAA	Président
BOUMEDIENE Abdelhamid	MAA	Examineur
ADDA BENATIA A.Rahmane	MAA	Encadreur

PROMOTION 2015 /2016

Remercîments

En premier lieu, on remercie ALLAH, le tout puissant, pour nous donné, la patience, la volonté et la force nécessaires pour achever ce travail.

Nous adressons notre sincères remerciements et à exprimer toute notre Gratitude à M^r ADDA BENATTIA Abderrahmane d'avoir accepté de rapporter notre mémoire. Merci pour vos conseils votre disponibilité et soutien dans les moments délicats. On remercie le président pour avoir accepté de juger ce travail, et les membres du jury qui ont pris de leurs temps pour lire, juger ce travail.

Notre vifs remerciements vont également a nos familles qui nous aimons énormément qui nous soutenu à chaque moment difficile de nos vies, nous les remercions chaleureusement du fond du cœur, Enfin, nous tiens à remercier tous ceux que nous n'avons pas cités mais que nous n'avons pas oubliés pour autant et qui de près comme de loin nous aidé, A tous, un grand MERCI!

Dédicace

Je dédie ce modeste travail à toute ma famille

*Mes parents que je leur dise je vous aime beaucoup et merci pour tous Mes frères
et mes sœurs*

Et ses Enfants « HOUSSAM □ NABIL □ IMAD »

Mon ami ADEL

Mon collègue YUCEF

A tous mes amis.

Dédicace

Je dédie ce travail

A ma mère qui a souffert.

A mon père lui je tant adoré.

A mes sœurs et mes frères.

Et surtout Hocine B

A mon ami Abdelmalek

Mon collègue Hicham

A mes enseignants et professeurs.

SOMMAIRE

Introduction générale :	01
CHAPITRE I Présentation de la Robotique industrielle	
1. Introduction :	02
2. Définition du robot industriel :	02
2.1. institut robot d'Amérique:	02
2.2. Association Japonaise de Robotique Industrielle :	02
2.3. L'association Française de Robotique Industrielle (AFRI) :	02
2.4. International Standard Organisation (ISO) :	03
3. Historique : ..	03
4. Classification :	04
4.1 Les Télémanipulateurs ou manipulateurs à commande manuelle	04
4.2 Les Manipulateurs automatiques à cycles pré-réglés	04
4.3 Les robots programmable	04
4.4 Les robots dits "intelligents"	04
5. Caractéristiques d'un robot industriel :	05
6. Structure générale d'un robot manipulateur :	06
7. Vocabulaire de la robotique :	07
4.1 Les Télémanipulateurs ou manipulateurs à commande manuelle	07
4.2 Les Manipulateurs automatiques à cycles pré-réglés	07
4.3 Les robots programmable	08
4.4 Les robots dits "intelligents"	08
8. But de la structure mécanique du robot manipulateur :	09
4.1 Les Télémanipulateurs ou manipulateurs à commande manuelle	09
4.2 Les Manipulateurs automatiques à cycles pré-réglés	09
4.3 Les robots programmable	09
4.4 Les robots dits "intelligents"	09
9. Aspects mécaniques des robots :	09
9.1 Objectifs à atteindre	10
9.2 Analogie avec le bras humain	10
9.3 Conséquences	10
9.4 Géométrie : relie positions des moteurs et de l'outil	10
10. Programmation des robots :	10

10.1 L'apprentissage.....	10
10.2 La génération de trajectoires et les operations.....	10
11. Domaine d'application des robots :	10
11.1. Robots industriels :.....	11
11.1.1 Robots Industriels de Soudage	11
11.1.2 Robots Industriels d'Assemblage.....	12
11.1.3 Robots Industriels d'Emballage / Palettisation.....	12
11.1.4 L'Industrie Agro-alimentaire	13
11.2 Robots dans les Biotechnologies :	13
11.3 Robots d'explorations :	14
11.3.1 Robots d'exploration spatiale	14
11.3.2 Robots d'exploration des mers et océans	14
11.4 Robots de services :.....	15
11.4.1 Robots de Service aux Humains	16
11.4.2 Robots de Service aux Equipements	16
11.4.3 Robots Rendant d'Autres Services	16
11.5 Robots de loisirs :.....	17
12. Place des robots dans l'industrie :.....	17
13. Utilité des robots :	17
14. Conclusion :.....	18

CHAPITRE II Robot industriel de type SCARA

1. Introduction :	19
2. Présentation du robot SCARA :.....	19
3. Définition de Robot industriel de type SCARA :.....	19
4. Caractéristiques des robots SCARA :	20
4.1. Caractéristiques géométriques :.....	21
4.2. Les caractéristiques générales du robot SCARA :.....	23
4.3. Caractéristiques techniques d'un robot SCARA :	24
5. Les applications du robot SCARA :.....	24
6. Nombre de degrés de liberté :.....	29
7. L'espace de travail :	29
8. Conclusion :	30

CHAPITRE III Modélisation géométrique

1. Introduction :	31
-------------------------	----

2. Modélisation d'un bras manipulateur :	31
3. But de la modélisation géométrique et les considérations :	31
4. Paramètres géométriques pour une structure ouverte simple :	32
5. Le Modèle Géométrique Direct MGD :	33
6. Le Modèle Géométrique Inverse MGI :	37
8. Exemple d'application sur le robot SCARA :	40
7. Conclusion :	42

CHAPITRE IV Modélisation virtuelle

1. Introduction :	43
2. Simulation des systèmes robotisés :	43
3. Outil de la simulation :	43
4. Le rôle de la simulation/animation :	44
5. Modélisation virtuelle :	44
5.1 But de la Modélisation virtuelle :	44
5.2 Choix de l'outil :	44
6. Processing :	45
7. Modélisation virtuelle du robot SCARA :	46
7.1. Construction du robot :	46
7.2. L'animation du robot :	47
7.3. Affichage instantané des résultats de calcul du MGD et MGI :	48
7.4. Résultat et Tests :	49
8. Conclusion :	52

LISTE DES FIGURES

CHAPITRE I Présentation de la Robotique industrielle

Figure 01. Composantes d'un robot :	03
Figure 02. composantes d'un robot industriel :	06
Figure 03. représentation d'une articulation rotoïde :	07
Figure 04. représentation d'une articulation prismatique :	07
Figure 05. architecture d'un robot industriel :	08
Figure 06. Structure générale d'un robot manipulateur :	09
Figure 07. Robots Industriels de Soudage :	11
Figure 08. Robots Industriels d'Assemblage :	12
Figure 09. Robots Industriels d'Emballage / Palettisation :	12
Figure 10. Robots Industriels Agro-alimentaire :	13
Figure 11. Robot de Médecine :	13
Figure 12. Robots d'exploration spatiale :	14
Figure 13. Robots d'exploration des mers :	14
Figure 14. Robots de Service aux Humains :	15
Figure 15. Robots de Service bras Manus :	15
Figure 16. Robots de Service aux Equipements :	16
Figure 17. Robots de Services :	16
Figure 18. Robot de loisirs :	17

CHAPITRE II Robot industriel de type SCARA

Figure 01. Les quatre axes du robot SCARA :	19
Figure 02. Robot SCARA IBM 7576:	20
Figure 03. Articulation prismatique :	20
Figure 04. articulation rotoïde :	20
Figure 05. 3 axes, série, RRR, 3DL :	21
Figure 06. 3 axes, série, PPP, 3DL :	21
Figure 07. 4 axes, parallèle, RP+RP, 3DL :	21
Figure 08. Volume accessible par l'outil du robot :	22
Figure 09. Dimensions du robot SCARA :	23
Figure 10. robot de vision Ivy :	24
Figure 11. robot de transfert :	25
Figure 12. robot de Transfert de pièces lourdes :	25
Figure 13. robot de L'inspection du produit fin :	26

Figure 14. Robot de convoyage masques pour des plaquettes :	26
Figure 15. robot de transport et la machine d'empilage :	27
Figure 16. robot d'assemblage (cellulaire indépendante) :	27
Figure 17. robot d'assemblage (cellule de la ligne) :	28
Figure 18. robot d'assemblage (unité de manutention pour testeur de but spécial) :	28
Figure 19. Robot SCARA à 4 degrés de libertés :	29
Figure 20. Robot SCARA selon la configuration la plus simple :	29

CHAPITRE III Modélisation géométrique

Figure 01. Paramètres géométriques du robot SCARA :	32
Figure 02. Paramètres géométriques pour une structure ouverte simple :	32
Figure 03. Exemple d'utilisation du MGD _a la commande :	33
Figure 04. SMA paramétrée :	34
Figure 05. La rotation des deux liens autour de son axe de rotation :	37
Figure 06 .Description schématique des différents référentiels :	37

CHAPITRE IV Modélisation virtuelle

Figure 01. Espace de travail Processing :	45
Figure 02. résultat de simulation n01 :	50
Figure 03. résultat de simulation n02 :	50
Figure 04. résultat de simulation n03 :	51
Figure 05. Exemple de simulation n04 :	51

LISTE DES TABLEAUX

CHAPITRE II Robot industriel de type SCARA

Tableau II.1 Caractéristiques techniques d'un robot SCARA TS60 :	24
--	----

CHAPITRE III Modélisation géométrique

Tableau III.1 : paramètres de Denavit-Hartenberg :	34
--	----

Tableau III.2 Résultat de calcul de position de l'OT :	42
--	----

CHAPITRE IV : La Modélisation Virtuelle

Tableau IV.1 résultats obtenus lors du test du MGD :	52
--	----

Liste des acronymes

AFNOR : Institut français de normalisation

AFRI : Association Française de Robotique Industrielle

CASPAR: Computer Assisted Surgical Planning and Robotiques

MGD : Modèle géométrique direct

MGI : Modèle géométrique indirect

GNU : General Public License

GPL : Garena Pro League

OT : Organe terminal

SMA : Système mécanique articulé

Introduction générale

Introduction générale

Depuis la révolution industrielle, une discipline a marqué l'évolution du monde technologique de la Robotique. L'évènement des robots dans l'industrie a permis de soulager l'homme des travaux répétitifs et difficiles tels que : le déplacement d'objets lourds, les tâches d'assemblages, les microsoudures... etc, Ceci avec plus d'efficacité et de précision, pour cela les bras manipulateurs peuvent être conçus pour des applications industrielles.

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

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

Le travail présenté dans ce mémoire s'articule de la façon suivante :

L'objet du premier chapitre est d'apporter quelques définitions de base et décrire la Robotique industrielle.

Le deuxième chapitre traite une petite étude de robot industriel de type SCARA.

Le chapitre III présente quelques méthodes permettant d'établir le modèle géométrique d'un robot type SCARA, ces méthodes sont basées sur la détermination des paramètres de Denavit Hartenberg.

Le chapitre IV apporte une définition de la modélisation virtuelle avec quelque exemples et mettre en fin les résultats obtenus.

Chapitre I

Présentation de la Robotique industrielle

1. Introduction

Dans ce premier chapitre nous commençons par quelques définitions de base de robot industriel pour faciliter la lecture de mémoire. Ensuite nous présentons Les caractéristiques des robots ainsi leurs classification et en terminera ce chapitre par la présentation de places des robots dans l'industrie et par une conclusion.

2. Définition du robot industriel [Rob_ind 01]

Il existe une définition du robot industriel normalisée et publiée par l'AFNOR (institut français de normalisation) : "Manipulateur commandé en position, reprogrammable, polyvalent, à plusieurs degrés de liberté capable de manipuler des matériaux, des pièces, des outils ou des dispositifs spécialisés au cours de mouvements variables, et programmé 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".

Il est à remarquer qu'aucune classification n'est satisfaisante, car aucune ne fait intervenir des critères techniques sans ambiguïté pour passer d'une classe à l'autre. Seules les deux dernières catégories de la classification de l'AFRI correspondent à la définition de l'AFNOR.

2.1. Institut robot d'Amerique

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.

2.2. Association Japonaise de Robotique Industrielle

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

2.3. L'association Française de Robotique Industrielle (AFRI)

Un robot industriel est une machine formée de divers mécanismes comportant divers degrés de liberté, ayant souvent l'apparence d'un ou de plusieurs bras se terminant par un poignet capable de maintenir un outil, une pièce ou un instrument de contrôle. En particulier, son unité de contrôle doit contenir un système de mémorisation, et il peut parfois utiliser des accessoires sensitifs et adaptables qui tiennent compte de l'environnement et des circonstances. Ces machinés, ayant un rôle pluri-disciplinaire, sont

généralement conçues pour effectuer des fonctions répétitives, mais sont adaptables à d'autres fonctions.

2.4. International Standard Organisation (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 .

Cette figure représente la structure générale d'un robot.

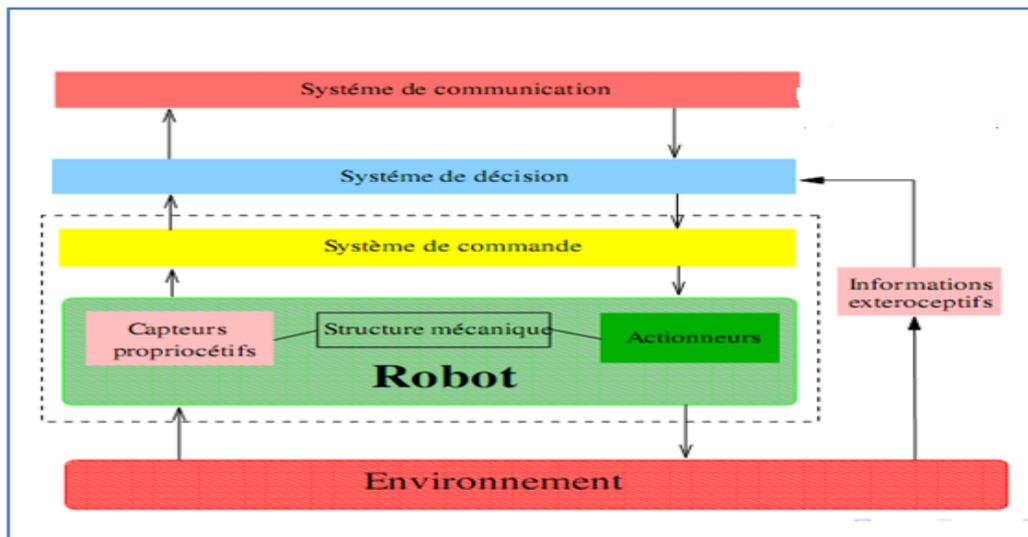


Figure 01 : structure générale d'un robot [Obeid 15]

3. Historique [Duysinx 11]

En 1772, (Pierre Jaquet-Droz 1721-1790) invente un écrivain automate. C'est un pantin de bois avec des mécanismes. Il invente également un automate dessinateur et une automate musicienne!

En 1961 le premier robot de l'entreprise Unimation : Unimate fut embarqué de Danbury dans le Connecticut, puis mis en application dans une des usines de General Motors se situant à Parkway Avenue dans la banlieue de Trenton. Ce robot grâce à son bras articulé de 1,5 tonne était capable de manipuler des pièces de fonderie pesant 150 kg.

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 Cyber nife permet d'effectuer divers traitements de radiothérapie. Plus de 150 exemplaires étaient utilisés dans le monde début 2009. Il existe également le robot Niobé de Stéréotaxies 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).

1947 : Premier manipulateur électrique télé opéré

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

4. Classification [Boimond 04]

L'AFRI (Association Française de Robotique Industrielle) distingue quatre classes de robots :

4.1 Les Télémanipulateurs ou manipulateurs à commande manuelle

Ils sont commandés à distance et "en temps réel" par un opérateur humain. Cette télécommande se fait à plus ou moins longue distance par signaux mécaniques, hydrauliques, ou le plus souvent électriques. Ces manipulateurs sont employés en forge, fonderie, meulage-ébarbage, milieux "hostiles", etc. mais nécessitent toujours la présence et l'intervention constante d'un opérateur.

4.2 Les Manipulateurs automatiques à cycles prééglés

Leurs mouvements sont limités par des butées et cames réglables à la main. Ils sont commandés à l'aide de logiques à relais ou pneumatiques (séquences fixes), ou par automates programmables et cartes à microprocesseurs (séquences variables). Généralement modulaires, ces appareils sont conçus pour une application déterminée.

4.3 Les robots programmables

Ils sont pilotés par des ordinateurs ou des armoires de commande numérique. Leurs mouvements continus dans l'espace sont alors programmés par apprentissage ou en langage symbolique par l'intermédiaire d'un clavier, ou encore sur l'écran d'un poste de CAO. Ils assurent des manipulations complexes, des opérations de soudage, usinage, découpe, peinture et pulvérisation, etc ...

4.4 Les robots dits "intelligents"

Equipés de capteurs (par exemple un système de vision artificielle ou de suivi de joint en soudage), ils peuvent analyser les modifications de leur environnement ou de leur

trajectoire et réagir en conséquence. Ces machines appelées robots de "deuxième génération" commencent à être répandus dans l'industrie.

La "troisième génération" disposant de capacités de raisonnement grâce à l'intelligence artificielle fait aujourd'hui l'objet de recherches approfondies.

5. Caractéristiques d'un robot industriel [Gangloff 03]

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.

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 (détachable Workspace), également appelé espace de travail maximal, est le volume de l'espace que le robot peut atteindre via au moins une orientation de l'organe terminal.

L'espace de travail dextre (dextrous 6 workspace) est le volume de l'espace que le robot peut atteindre avec toutes les orientations possibles de l'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 respectabilité, ce paramètre caractérise la capacité que le robot à retourner vers un point (position, orientation) donné. La respectabilité correspond à l'erreur maximum de positionnement sur un point prédéfini dans le cas de trajectoires répétitives. En général, la respectabilité est de l'ordre de 0,1 mm.

La vitesse de déplacement (vitesse maximum en élongation maximum), accélération ainsi la masse du robot, le coût du robot et la maintenance.

Caractéristiques générales d'un robot industriel optimisé pour la performance (temps de cycle), Interface automatismes (E/S), fabriqués en grande série.

6. Structure générale d'un robot manipulateur

Description du robot manipulateur dans son environnement en 05 composantes interagissant : une Structure mécanique ou système articulé qui contient membres rigides, liaisons articulées par des joints mécaniques son extrémité l'outil ou l'effecteur.

Un Actionneurs ou actuateurs pour lutter contre la gravité, l'inertie, les forces extérieures et pour modifier la configuration a de types électriques / pneumatiques / hydrauliques.

Les systèmes de transmissions mécaniques pour connecter les actuateurs à la structure mécanique et transmettre et adapter les sources d'énergie aux charges.

Les senseurs tactiles, optiques, électriques aussi senseurs proprioceptifs dont le but est de fournir l'information sur la configuration du manipulateur, senseurs extéroceptifs dont le but est donné des informations sur l'environnement.

Unité de contrôle joue le rôle d'information : collecter l'information venant des senseurs aussi rôle de décision partant d'une tâche définie et tenant compte des données du Système et de l'environnement établir des actions et le rôle de communication.

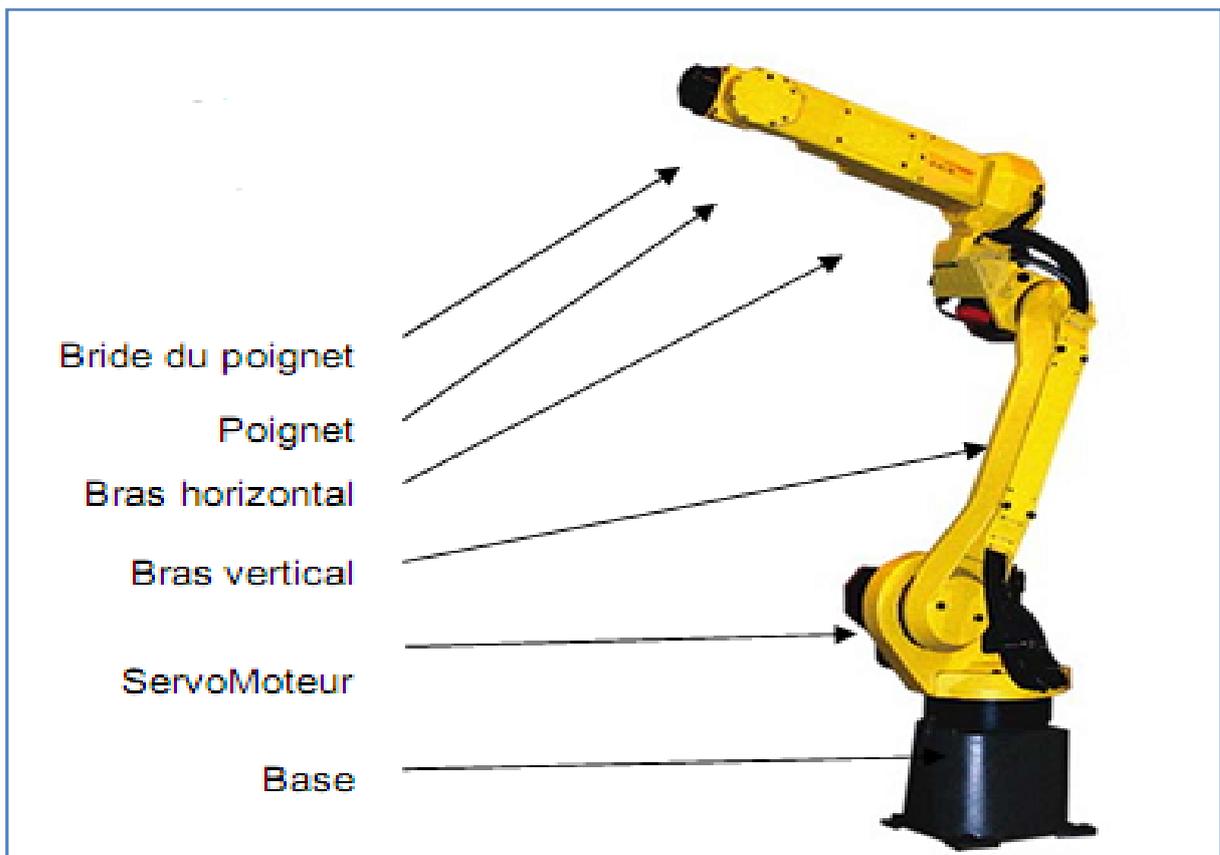


Figure 02 : composantes d'un robot industriel [Obeid 15]

7. Vocabulaire de la robotique [Gangloff 03]

7.1 La base

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

7.2 Le porteur

Le porteur représente l'essentiel du système mécanique articulé, il a pour rôle d'amener l'organe terminal dans une situation donnée imposée par la tâche (la situation d'un corps peut être définie comme la position et l'orientation d'un repère attaché à ce corps par rapport à un repère de référence). Il est constitué de :

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

7.4 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.



Figure 03 : représentation d'une articulation rotoïde [Obeid 15]

L'articulation prismatique s'agit d'une articulation de type glissière, notée P, réduisant le mouvement entre deux corps à une translation le long d'un axe commun.

La situation relative entre les deux corps est mesurée par la distance le long de cet axe.



Figure 04 : représentation d'une articulation prismatique [Obeid 15]

7.5 L'actionneur

Pour être animé, la structure mécanique articulée comporte des moteurs le plus souvent associés à des transmissions (courroies crantées), l'ensemble constitue les actionneurs. Les actionneurs utilisent fréquemment des moteurs électriques à aimant permanent, à courant continu, à commande par l'induit. On trouve de plus en plus de moteurs à commutation électronique (sans balais), ou, pour de petits robots, des moteurs pas à pas.

Pour les robots devant manipuler de très lourdes charges (par exemple, une pelle mécanique), les actionneurs sont le plus souvent hydrauliques, agissant en translation (vérin hydraulique) ou en rotation (moteur hydraulique).

Les actionneurs pneumatiques sont d'un usage général pour les manipulateurs à cycles (robots tout ou rien). Un manipulateur à cycles est une structure mécanique articulée avec un nombre limité de degrés de liberté permettant une succession de mouvements contrôlés uniquement par des capteurs de fin de course réglables manuellement à la course désirée asservissement en position difficile dû à la compressibilité de l'air .

7.6 L'organe terminal

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

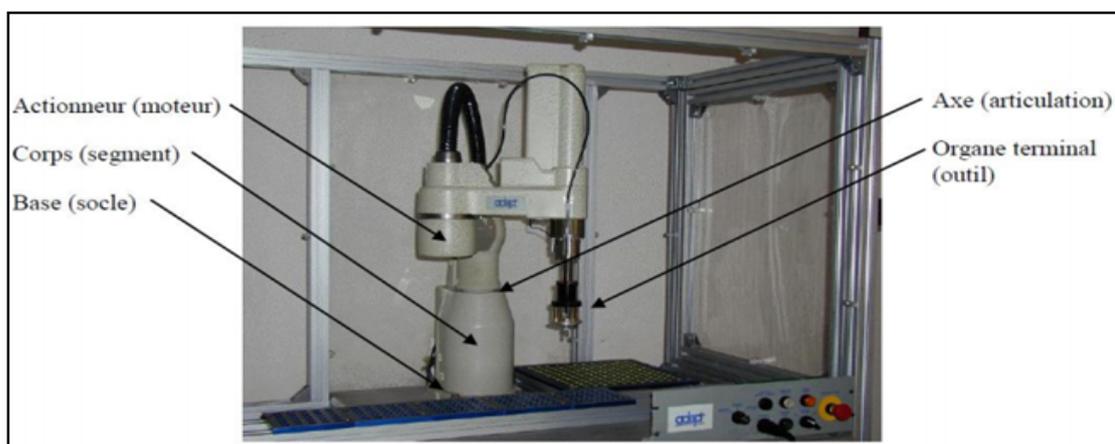


Figure 05 : architecture d'un robot industriel [Obeid 15]

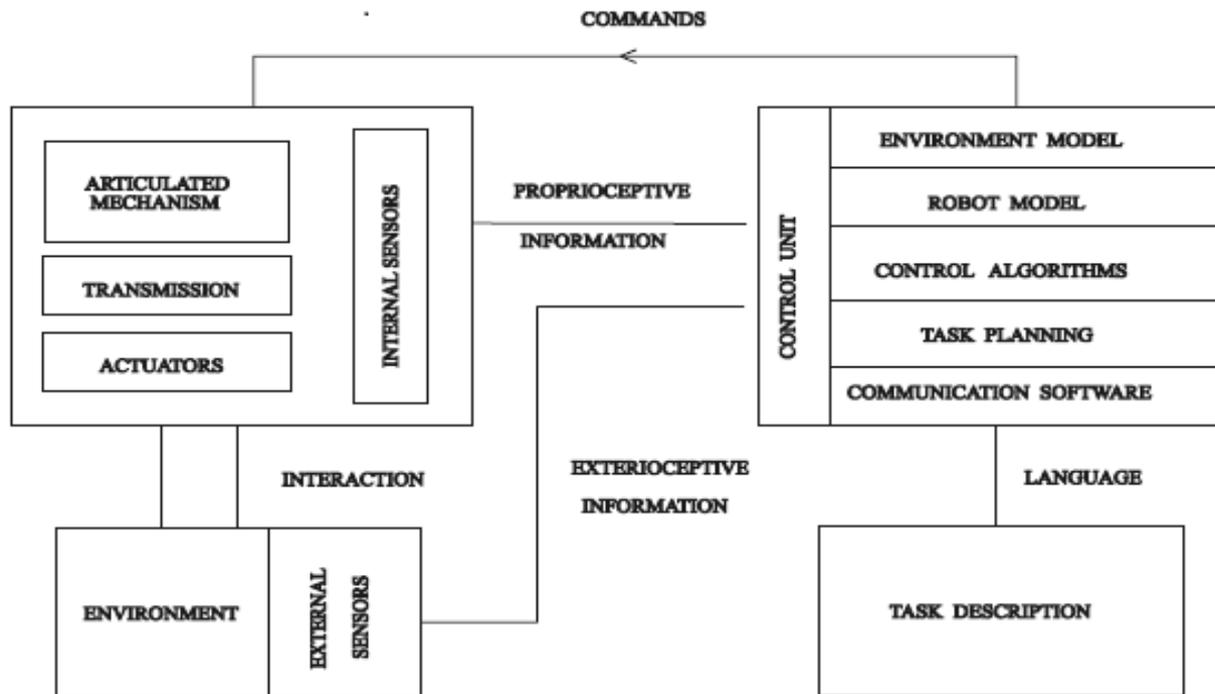


Figure 06 : Structure générale d'un robot manipulateur [Gangloff 03]

8. But de la structure mécanique du robot manipulateur

Assurer la localisation dans l'espace d'un outil appelé effecteur

8.1 Localisation géométrie de l'effecteur

Localisation = position + orientation, assez arbitraire dans l'espace de travail et variable au cours du temps: notion de trajectoire.

8.2 Planification de trajectoire

Tenant compte des contraintes environnementales

8.3 Description de la position et de l'orientation de l'effecteur

Nécessité de différents systèmes de coordonnées (repères)

Transformations de coordonnées.

9. Aspects mécaniques des robots

9.1 Objectifs à atteindre

Mobilité et dextérité aussi grande que possible dans l'espace de travail ainsi que l'accessibilité aussi large que possible et flexibilité maximale des tâches à réaliser.

9.2 Analogie avec le bras humain

Présente des liaisons séries entre les membres par des joints rotules pour la mobilité et la dextérité, ainsi qu'une pauvre raideur mécanique et une mauvaise précision.

9.3 Conséquences

Nécessité d'avoir une conception assez sophistiquée (Advanced design), une bonne modélisation et un contrôle efficace.

9.4 Géométrie : relie positions des moteurs et de l'outil

On a besoin des équations non linéaires complexes pour déterminer les modèles géométriques.

10. Programmation des robots [Boimond 04]

Classiquement, 2 étapes sont utilisées pour faire en sorte qu'un robot connaisse la tâche à exécuter :

10.1 L'apprentissage

Enregistrement dans une mémoire de la trajectoire à exécuter, sous contrôle d'un opérateur humain.

Pantin : Structure mécanique identique à celle du robot, qui est déplacée et qui mémorise les points « pertinents ».

Syntaxeur : Un manche de pilotage (joystick) commande les déplacements de l'organe terminal.

Boîte à boutons : Un interrupteur par actionneur.

10.2 La génération de trajectoires et les opérations

A réaliser le long de ces trajectoires, ce qui permet de définir la tâche à réaliser : On fait appel à un logiciel qui, à partir du modèle du robot, et des trajectoires à réaliser, élabore la succession des commandes des actionneurs. Les langages de programmation les plus courants sont : WAVE, VAL (Unimate), LM (Hitachi).

11. Domaine d'application des robots [Rob_app 03]

La robotique possède de nombreux domaines d'application. Les robots ont été installés dans les industries, ce qui permet de faire :

- Automatisation de la fabrication et de la production.
- Tâches répétitives.
- Qualité constante (Répétitivité de la qualité).
- Production de lots de dimension moyenne (30-200).
- Adaptation au volume de la production.
- Meilleure utilisation des capacités de production (pas de pauses).

- Travail pénible et dangereux.
- L'exploration des places difficiles d'accès (milieu sous-marin, espace...) ainsi que dans les environnements hostiles (radioactivité, etc.).
- Robots de service aux humains et d'équipements.

11.1. Robots industriels

Un robot qui opère de manière automatique ou semi-automatique pour accomplir des opérations de fabrication comme :

- Soudage
- Peinture
- Assemblage
- Emballage et palettisation
- Industrie alimentaire
- Industrie biologique

11.1.1 Robots Industriels de Soudage

Une des applications les plus courantes de la robotique industrielle est le soudage. Le soudage robotisé des châssis de voiture améliore la sécurité car un robot ne manque jamais son point de soudure et les réalise toujours de la même manière tout au long de la journée.

A peu près 25 % des robots industriels sont impliqués dans différentes opérations de soudure.



Figure 07 : Robots Industriels de Soudage [Rob_source]

11.1.2 Robots Industriels d'Assemblage

L'assemblage occupe environ 33% des applications du parc des robots industriels (1997). Beaucoup de ces robots peuvent être trouvés dans l'industrie automobile et l'industrie électronique.



Figure 08 : Robots Industriels d'Assemblage [Rob_source]

11.1.3 Robots Industriels d'Emballage / 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.



Figure 09 : Robots Industriels d'Emballage / Palettisation [Rob_source]

11.1.4 L'Industrie Agro-alimentaire

L'industrie agro-alimentaire est un champ d'applications voué à jouer un rôle majeur dans le futur. Comme montré sur la figure, les constructeurs développent une gamme spécifique de produits pour ce domaine. • Ex: FANUC Wash down Type (A-520i) or ABB IRB340.



Figure 10 : Robots Industriels Agro-alimentaire [Rob_source]

11.2. Robots dans les Biotechnologies

Les applications dans l'industrie pharmaceutique et dans les biotechnologies sont nombreuses.

Exemple : le système robotisé de For Bio-Robotics (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.

Robot de Médecine

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



Figure 11 : Robot de Médecine [Rob_source]

11.3. Robots d'exploration

11.3.1 Robots d'exploration spatiale

Un robot qui opère de manière automatique ou semi-automatique pour remplir des missions d'exploration dans des endroits inaccessibles ou dangereux pour l'être humain.



Figure 12 : Robots d'exploration spatiale [Rob_source]

11.3.2 Robots d'exploration des mers et océans

Les robots d'exploration des mers sont capable de travailler, jusqu'à 2000m sous la surface.

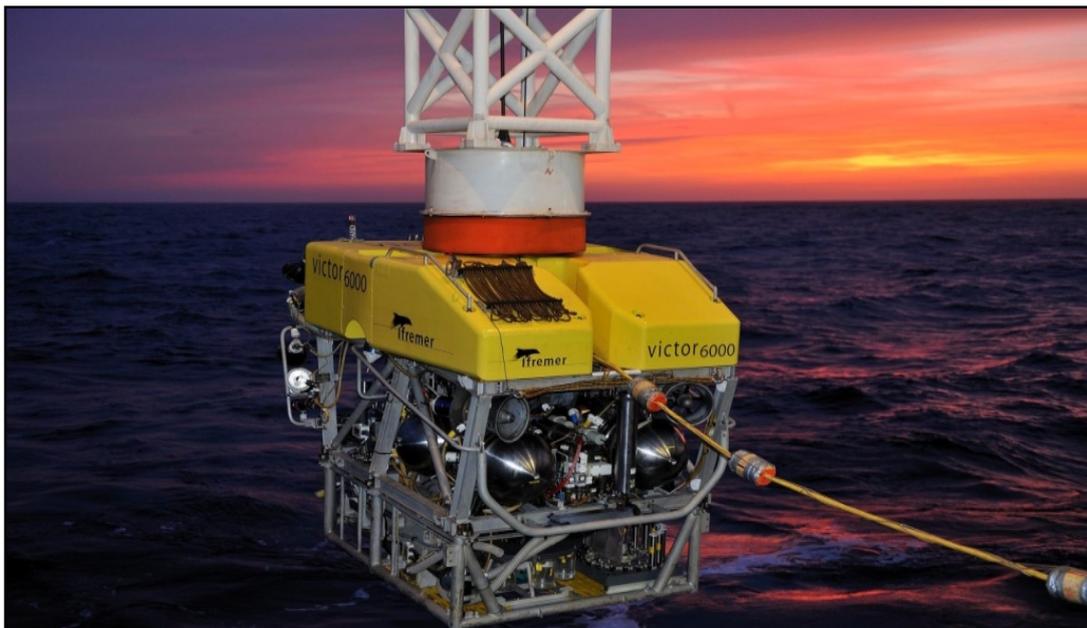


Figure 13 : Robots d'exploration des mers [Rob_source]

11.4. Robots de service

Un robot qui opère de manière automatique ou semi-automatique pour remplir des missions de service aux êtres humains, aux équipements, en excluant les opérations de fabrication.

11.4.1 Robots de Service aux Humains

CASPAR (Computer Assisted Surgical Planning And Robotiques) d'ortho MAQUET, consiste en un robot industriel monté sur une base mobile, un outil de fraisage et une unité de calibration.

Le système assiste le chirurgien dans la pose de prothèse de hanche. Sur la base des données du patient, le placement de la prothèse est d'abord simulé. Les contours d'un ajustement parfait sont déterminés avec une précision supérieure à celle de l'humain. L'opération reste sous la supervision du chirurgien.



Figure 14 : Robots de Service aux Humains [Rob_source]

Le bras MANUS de la société Exact Dynamics (Pays Bas) est une chaise roulante montée avec un bras manipulateur léger à 6 d.d.l pour les personnes avec des invalidités graves. La combinaison du manipulateur et de la chaise roulante les aide en exécutant des tâches simples comme ouvrir des portes, préparer le café, etc. Lorsqu'il n'est pas en activité, le bras retombe discrètement. L'interface homme machine pour la commande des mouvements peut être ajustée Individuellement. Elle peut être réglée sur un sifflet, la voix, un joystick...



Figure 15 : Robots de Service bras Manus [Rob_source]

11.4.2 Robots de Service aux Equipements

"Skywash" (Putzmeister Werke, Germany) peut diminuer par un facteur 2 le temps de lavage d'un avion. Skywash intègre toutes les composantes d'un système robotique avancé :

Pré-programmation des mouvements à partir d'un modèle CAO de l'avion, localisation automatique des objets par des capteurs. D'un asservissement du mouvement par des capteurs tactiles, une architecture fortement redondante (11 d.d.l) installée sur une base mobile et une sécurité de fonctionnement maximale, le manipulateur agit sous la supervision d'un être humain.



Figure 16 : Robots de Service aux Equipements [Rob_source]

11.4.3 Robots Rendant d'Autres Services

Cyber-Guard de Cyber motion 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.



Figure 17 : Robots de Services [Rob_source]

11.5. Robot de loisirs

Ce sont des robots de loisirs pour les enfants.



Figure 18 : Robot de loisirs [Rob_source]

12. Place des robots dans l'industrie

Les robots industriels sont apparus aux Etats-Unis vers 1960. De nos jours, ils sont beaucoup utilisés dans les usines.

Ces robots peuvent être programmés de différentes façons et donc faire des tâches répétitives ou variées. Ils peuvent reproduire les opérations autrefois effectuées par l'homme.

13. Utilité des robots

Les robots sont idéals pour faire des tâches répétitives ou des tâches précises. Ils remplacent les hommes quand les conditions de travail sont trop dangereuses.

Les robots ont des qualités importantes par rapport aux humains:

Humains	Robots
Salaire	Aucun salaire
Pause	Aucun besoin de pause
Dîner	Pas besoin de manger
Sommeil	Pas besoin de dormir
Fatigue	Ne se fatiguent pas
Erreurs	Ne font pas d'erreurs possibles
Peuvent	Ne s'ennuient jamais s'ennuyer

En l'année 2000, 90% des robots étaient utilisés dans les industries. Les robots peuvent travailler dans les usines, les laboratoires et les hôpitaux.

Plus de 50% des robots industriels travaillent dans les usines de fabrications de voitures. Il y a tellement de robots dans les industries de voitures que le travail des humains est surtout de s'occuper du maintien et du fonctionnement de ces robots. Les robots peuvent être utilisés pour

assembler des pièces, pour analyser et pour vérifier certains produits, pour manipuler et utiliser des matériaux dangereux.

14. Conclusion

Dans ce chapitre, on a vu la définition du robot industriel et ses catégories, caractérisations, et la programmation des robots industriels ainsi que leurs domaines d'application et la place qui occupent dans l'industrie. Ce type de robot joue un grand rôle dans l'industrie, il sert à gagner le temps, la main d'œuvre, la précision ...etc.

Parmi les différents types de robot industriel, il existe un type qui s'appelle robot SCARA qui va faire l'objet du prochain chapitre II.

Chapitre II

Robot industriel de type SCARA

1. Introduction

Les robots prennent une place très importantes dans le domaine d'industrie, il existe plusieurs types des robots industriels, parmi ces types on distingue le robot industriel de type SCARA, Dans ce chapitre on va voir la définition du robot SCARA et ces caractéristiques qui varient en fonction du type de robot ainsi l'application de ce robot dans l'industrie.

2. Présentation du robot SCARA

Il s'agit d'un robot IBM référencé 7547. (SCARA Etant le type du robot). Il est constitué de trois articulations rotondes et d'une prismatique, Il possède donc quatre degrés de liberté.

Le système d'entraînement est assuré par des moteurs courant continus pilotés par un variateur quatre quadrants.

L'environnement de programmation permet l'écriture, la compilation et le transfert de programmes vers le robot pour l'exécution de ceux-ci.

Le langage de programmation est AML/E (A Manufacturing Language/Entry).

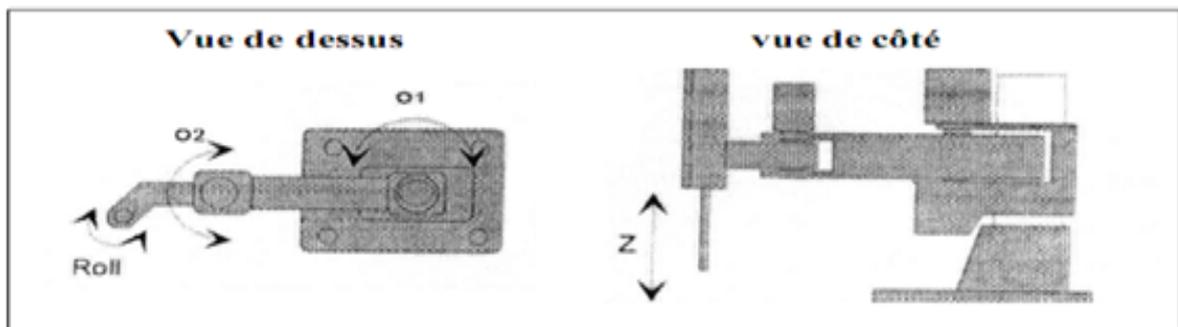


Figure 01 : Les quatre axes du robot SCARA [Obeid 15]

3. Définition de Robot industriel de type SCARA [SCARA wiki]

Le robot SCARA est une machine d'assemblage qui installe les pièces ou transporte les articles il est conçu pour imiter l'action d'un bras humain et peut être utilisé dans les emplois des usines de construction automobile sous l'eau. Cet outil est souvent utilisé en raison de sa rapidité, l'efficacité et à faible coût.

SCARA signifie sélective Conforme Assemblée Robot Arm ou sélective Conforme articulé bras robotisé. Un robot SCARA dispose d'une gamme complète de mouvement sur ses axes X et Y, mais est boulonné et incapable de bouger dans l'axe Z.

Il peut être programmé pour exécuter des tâches précises répétitives, comme l'installation d'une broche ou transporter des objets d'un endroit à un autre au sein de sa gamme de

mouvement. Dans le domaine de la robotique, le SCARA est considéré comme plus abordable que beaucoup de ses concurrents et est l'une des méthodes les plus populaires de l'assemblage automatisé.

Un robot SCARA est principalement utilisé pour l'assemblage. Ils sont utilisés par les fabricants de tout, de voitures encombrantes à des éléments électroniques minuscules. Il peut être programmé pour gérer les travaux d'installation très précise et ne peut porter beaucoup de poids, de sorte que le bras qui fonctionne le mieux lors de la manipulation de petites pièces.

Ces robots peuvent aussi avoir leurs joints étanches pour fonctionner dans la construction sous-marine. La capacité d'un SCARA à être contrôlé à distance, il fait une caractéristique commune des chantiers qui peuvent être dangereux pour l'homme, comme le travail avec des produits chimiques, ou dans des environnements avec des conditions extrêmes, comme aciérie.

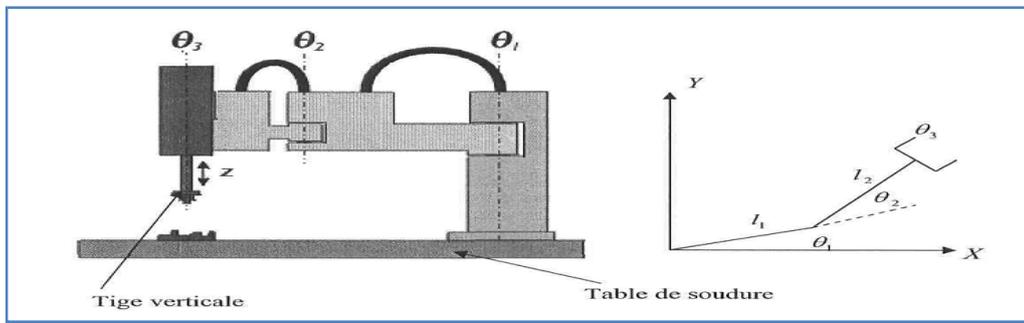


Figure 02 : Robot SCARA IBM 7576 [Obeid 15]

4. Caractéristiques des robots SCARA [Gangloff 03]

Le robot SCARA comporte 04 articulations, et 04 degrés de liberté, 03 articulations de type rotoïdes et une seule prismatique, les articulations sont représentées de la manière suivante :

- ✓ Articulation prismatique :



Figure 03 : Articulation prismatique [Obeid 15]

- ✓ articulation rotoïde :



Figure 04 : articulation rotoïde [Obeid 15]

4.1. Caractéristiques géométriques

- nombre d'axes (mus par un actionneur)
- architecture (série ou parallèle)
- chaînage des articulations
- nombre de degrés de liberté

Exemples

- 3 axes, série, RRR, 3DL

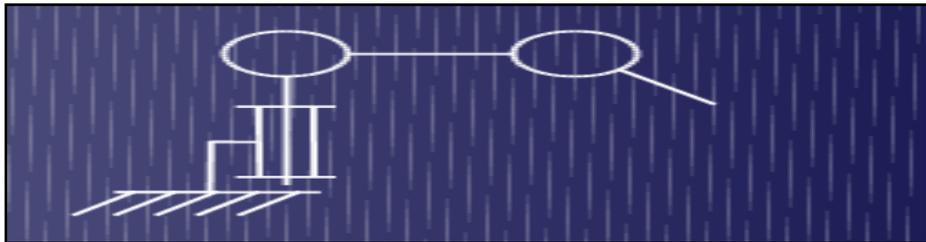


Figure 05 : 3 axes, série, RRR, 3DL [Obeid 15]

- 3 axes, série, PPP, 3DL

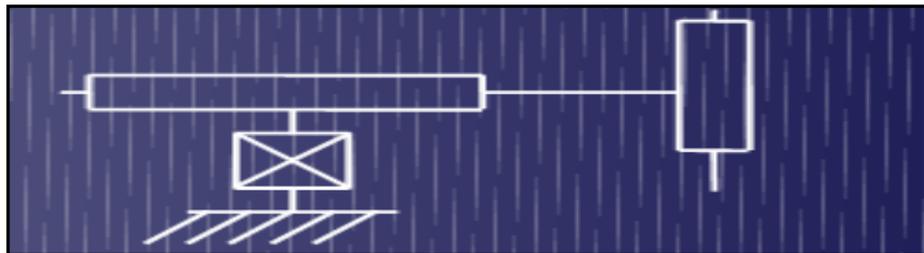


Figure 06: 3 axes, série, PPP, 3DL [Obeid 15]

- 4 axes, parallèle, RP+RP, 3DL

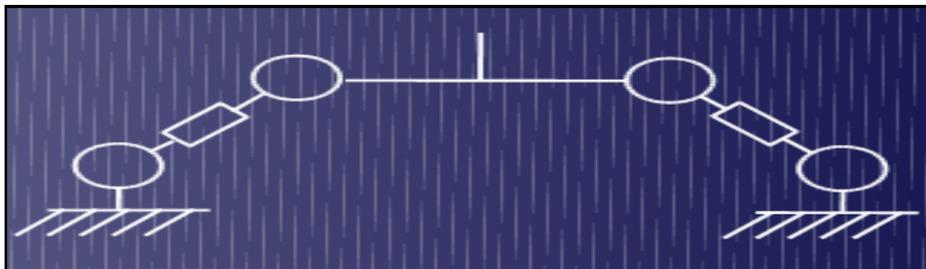


Figure 07 : 4 axes, parallèle, RP+RP, 3DL [Obeid 15]

Volume accessible

C'est le volume accessible par l'outil du robot, il est en fonction de la géométrie du robot, la longueur des segments ainsi que le débattement des articulations (limité par des butées).

Exemples

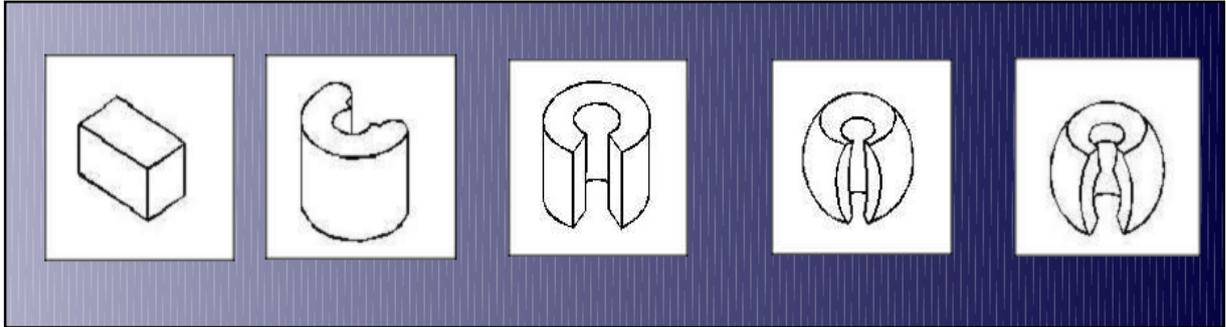


Figure 08 : Volume accessible par l'outil du robot [Obeid 15]

Le volume accessible de notre robot SCARA est une partie d'un cylindre de largeur a_1+a_2 , et de hauteur r_4 .

Précision/Respectabilité

Positionnement absolu imprécis (>1 mm) :

- erreurs de modèle géométrique
- erreurs de quantification de la mesure de position
- flexibilités

Respectabilité

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

- En général respectabilité < 0.1 mm

Charge utile

La charge utile est la charge maximale que peut porter le robot sans dégrader la respectabilité.

La charge utile est nettement inférieure à la charge maximale que peut porter le robot qui est directement dépendante des actionneurs.

4.2. Les caractéristiques générales du robot SCARA

Vitesses élevées

Robot très rapide pouvant atteindre 100 coups minute



Capacité de charge élevée

Une vis à bille de Ø25 mm permet de transporter des charges importantes à vitesses élevées

Modes de fixation multiples

Fixations au sol ou murale apportent plus de flexibilité et facilitent l'intégration du robot



Connexion d'utilisateur multiple

Les connexions électriques, pneumatiques et les entrées/sorties sont disponibles sur l'avant bras ou sur la bride outil



Protection élevée

Grâce à sa classe de protection IP54, une connectique protégée et une option avec soufflets, le robot est très bien protégé contre les poussières et les projections liquides.



Large enveloppe de travail

Une course de 200 ou de 400 mm et la conception du bras donnent un volume de travail important.

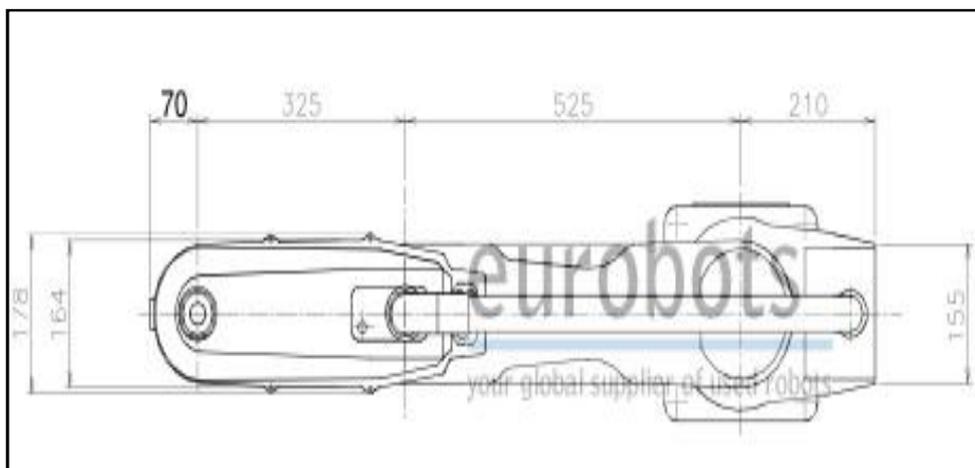


Figure 09 : Dimensions du robot SCARA [Eurobots]

4.3. Caractéristiques techniques d'un robot SCARA

Robot ScaraTS60

Modèle	TS60
Nombre de degrés de liberté	4
Charge maximale	8 kg
Charge nominale	2 kg
Rayon d'action	600 mm
Répétabilité	±0,01 mm
Course	200 ou 400 mm
Classe de protection (avec soufflets)	IP54
Classe de propreté - ISO 14644-1 (avec soufflets)	6
Modes de fixation	Sol ou mur
Contrôleur Stäubli série CS8	CS8C

Tableau 01 : Caractéristiques techniques d'un robot SCARA TS60 [Obeid 15]

5. Les applications du robot SCARA [ind-rob app]

Vis de serrage de travail en utilisant le système robot de vision Ivy



Figure 10 : robot de vision Ivy [ind_rob app]

Diverses conditions peuvent être traitées en ajoutant la position de détection du système Ivy fonction. Le robot peut être facilement intégré dans des cas tels que lorsque les positions des trous de vis sont incompatibles, la position de la pièce sur le convoyeur ne est pas conforme, ou lorsque plusieurs types de pièces à usiner sont fournies.

Le système Ivy peut être calibré avec des opérations simples. Le processus d'enseignement peut être réduite, de sorte que le temps de démarrage du système peut être raccourci et le coût du travail peut être réduite, etc.

Processus à processus de transfert en utilisant les spécifications inverses



Figure 11 : robot de transfert [ind_rob app]

Les spécifications inverses permettent la pièce à être tenu d'en bas, de sorte que la chute de corps étrangers sur la pièce en cours de transfert peuvent être évités.

La performance de mécanisme de robot est équivalente à la spécification standard. La haute performance de la YK-XG Séries peut être utilisée.

Trois modes d'installation peuvent être sélectionnées: l'installation standard de plancher du robot Yamaha Scalar, montage mural et cette spécification inverse. Yamaha propose diverses idées lors de la conception du système.

Si les spécifications de la norme, les spécifications de plafond suspendu ou murales normales sont installés dans un état inverse, le système pourrait ne pas fonctionner correctement. Cependant, sélectionner la spécification inverse dédiée (YK-XS-U) lors de l'examen du système.

Transfert de pièces lourdes processus à processus

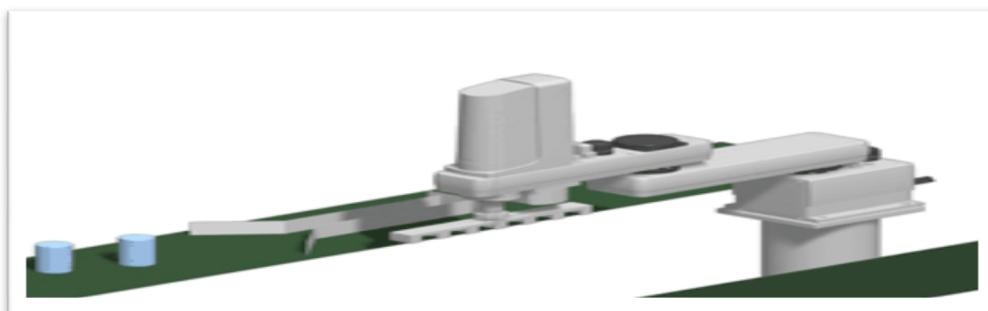


Figure 12 : robot de Transfert de pièces lourdes [ind_rob app]

Le lecteur de bande-moins moment en utilisant la structure intégrée réalise une inertie tolérable élevée pour l'axe de R.

Une grande part peut être utilisée avec cette inertie tolérable élevée pour l'axe de R, la quantité transférable par session augmente, et atteint une plus grande efficacité.

Avec une faible inertie, l'axe de R peut être déplacé avec une accélération élevée, et le temps de cycle peut être raccourci.

Engrenages harmoniques sont adoptés pour les Xyr engrenages de réduction de l'axe.

L'inspection du produit fini, écran tactile de type machine à l'évaluation

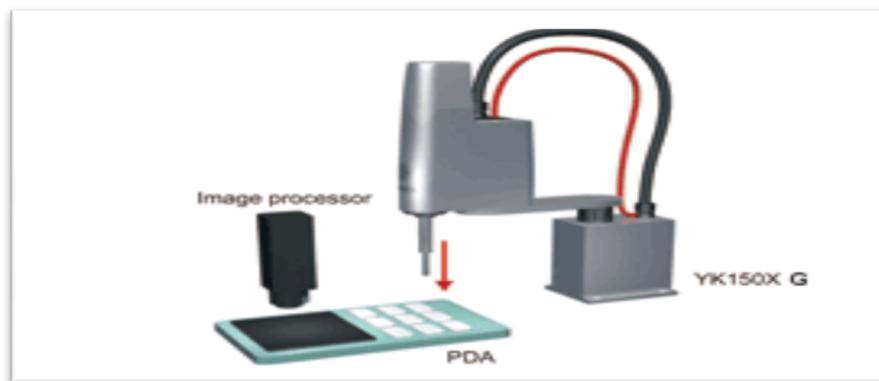


Figure 13 : robot de L'inspection du produit fini [ind_rob app]

Prend en charge une variété de systèmes dans une gamme de produits qui est de première classe dans son domaine avec des longueurs de bras de 120mm à 1200mm.

- Gain de place
- Utilisation SCARA, jugement est rendu par traitement d'image en appuyant sur chaque bouton

Convoyage masques pour des plaquettes

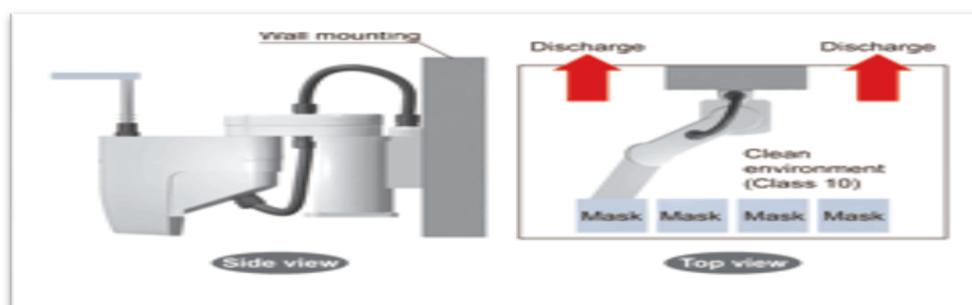


Figure 14 : Robot de convoyage masques pour des plaquettes [ind_rob app]

Section d'entraînement installé sous des morceaux de travail a propres spécifications + structure inversée.

Si la coordonnée cylindrique de type robotisé est utilisée, un axe de roulement est nécessaire pour cette application. Toutefois, si SCARA avec la fonction d'interpolation est utilisé, le type fixe est utilisable.

Pièces de travail hautes transport et la machine d'empilage

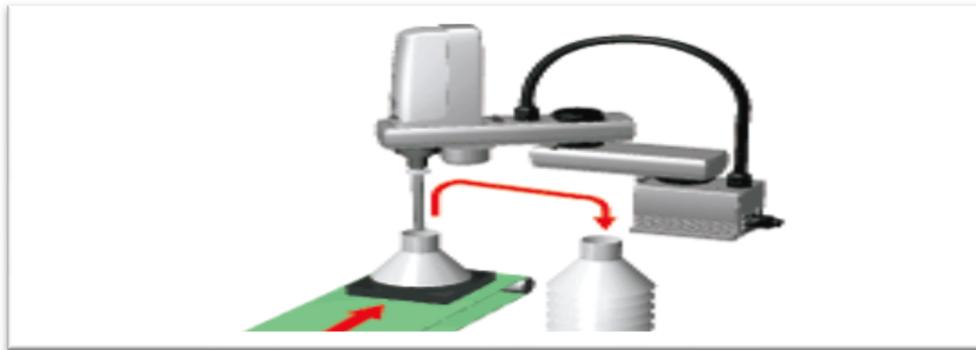


Figure 15 : robot de transport et la machine d'empilage [ind_rob app]

Utilisation de SCARA peut faire face à l'axe Z longue course comme un quasi standard.

YK250XH à 400XH Quasi course de l'axe standard Z: 300mm

YK500XG à 600XGH Quasi course de l'axe Z norme: 600mm

YK700XG à 1000xg Quasi course de l'axe Z norme: 800mm

Avantages d'utilisation du SCARA: la vitesse de l'axe XY et de l'espace sauvegarde de l'installation.

Cellule d'assemblage (cellulaire indépendante)

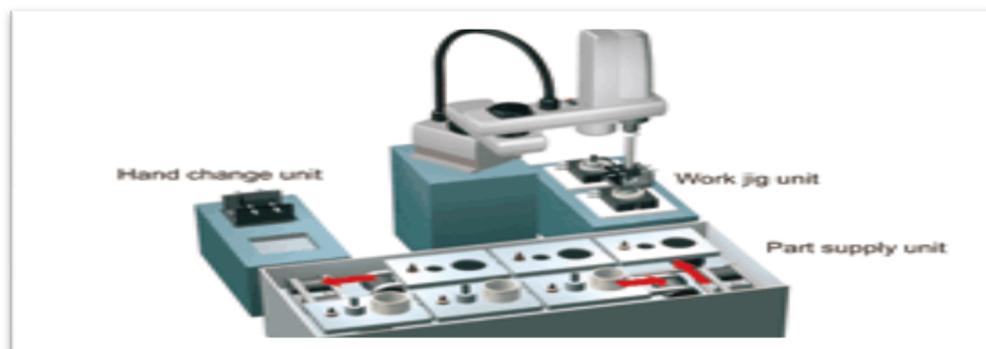


Figure 16 : robot d'assemblage (cellulaire indépendante) [ind_rob app]

- optimale pour la production de type multi quantité variable
- Mise en place des lieux de réception forme une construction de nombre multiple de cellules

Cellule d'assemblage (cellule de la ligne)

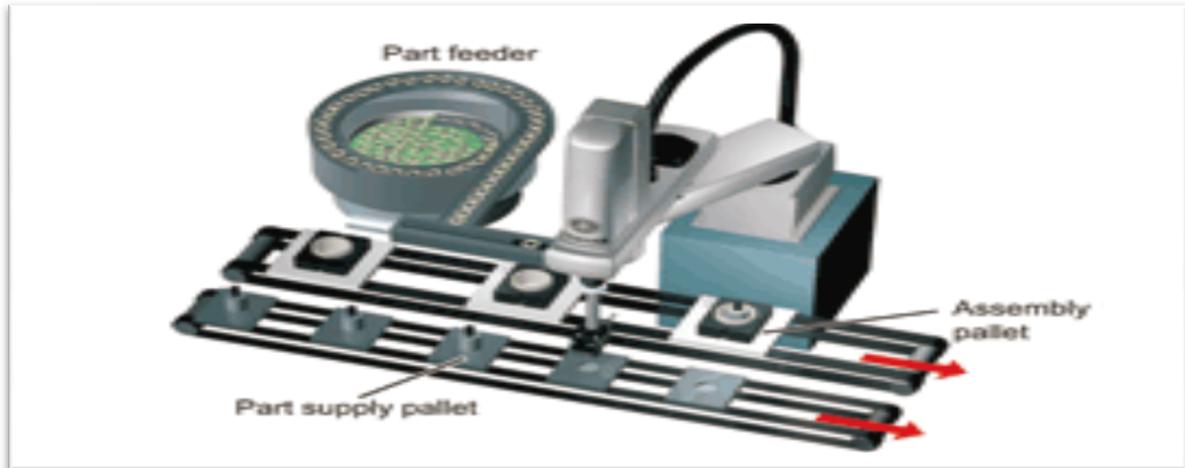


Figure 17 : robot d'assemblage (cellule de la ligne) [ind_rob app]

- Utilisation des avantages de SCARA avec une plage de fonctionnement de large
- Formez une ligne à ne importe quelle longueur en couplant ces cellules ensemble

Cellule d'assemblage (unité de manutention pour testeur de but spécial)

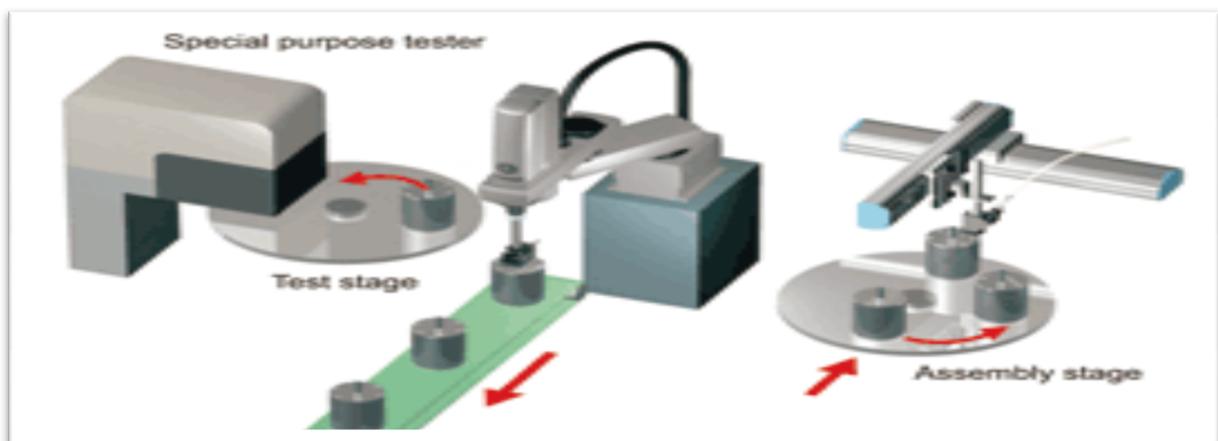


Figure 18 : robot d'assemblage (unité de manutention testeur) [ind_rob app]

Utilisation des avantages de SCARA qui a une plage de fonctionnement de large.

6. Nombre de degrés de liberté

Désigne les possibilités de déplacement indépendamment de l'objet manipulé par rapport au repère initialisé à sa base.

Nombre de degrés de liberté du robot étudié : 4.

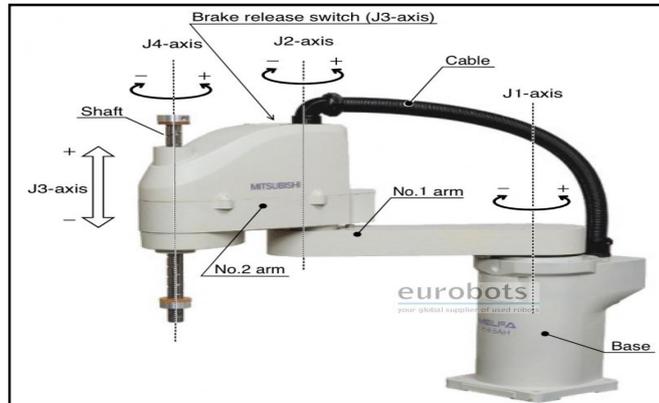


Figure 19 : Robot SCARA à 4 degrés de libertés [Obeid 15]

Redondance

Un robot est redondant lorsque le nombre de *d.d.l.* du mécanisme est inférieur au nombre d'articulations indépendantes (motorisées).

Avantage

Cette propriété permet de préserver les capacités de déplacement de l'organe terminal en présence d'obstacles, le (ou les) *d.d.l.* supplémentaire(s) autorisant leur contournement.

Inconvénients : Complexité du robot et des calculs.

7. L'espace de travail

L'espace de travail de ce robot est une partie d'un cylindre de rayon $(a1+a2)$

Pour la modélisation, la configuration la plus simple est : $\theta_1=0^\circ ; \theta_2=0^\circ, \theta_3=0^\circ ; \theta_4=0$

Elle assure une simplicité dans les calculs des modèles géométriques directs et inverse.

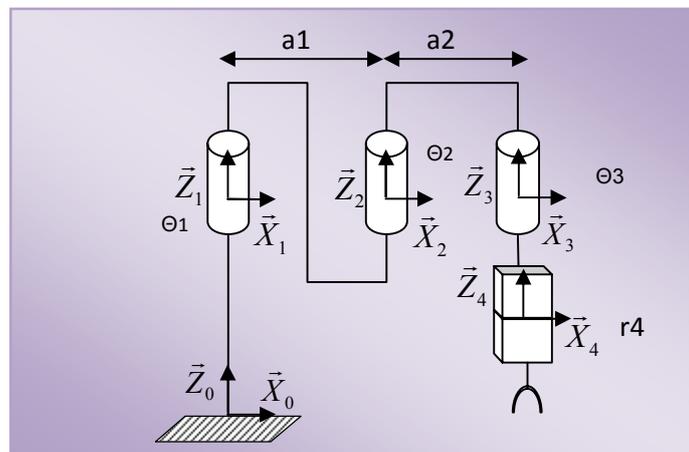


Figure 20 : Robot SCARA selon la configuration la plus simple [Obeid 15]

8. Conclusion

D'après ce chapitre nous concluons que la structure mécanique d'un robot manipulateur est composée de plusieurs corps connectés les uns aux autres par des liaisons appelées articulations, à un seul degré de liberté de translation ou de rotation, ainsi que les caractéristiques du robot SCARA, Comme pour les applications de ce robot et le mouvement de rotation de droite à gauche et le transfert du produit d'un autre point par certaines coordonnées.

Chapitre III

Modélisation Géométriques du Robot SCARA

1. Introduction

La conception et la commande des robots nécessitent le calcul de certains modèles mathématiques, tels que : les modèles géométriques direct et inverse 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 de type SCARA.

2. Modélisation D'un bras manipulateur

La réalisation d'un simulateur permettant de décrire l'état et le comportement globale d'une structure mécanique articulé comme tout autres systèmes, nécessite de combiner plusieurs concepts mathématique.

Le problème principal dans la modélisation est de trouver une relation entre les consignes données dans l'espace opérationnel de la tâche et des postures des éléments du robot dans l'espace articulaire : cette relation permet de fournir une interface masquant.

Le problème mathématique a l'utilisateur par le biais d'un programme informatique pour manipuler un robot de manier interactive, vu la complexité et la non linéarité des problèmes de modèle complet du comportement réel l'un robot n'est pas réalisable.

L'étude cinématique et dynamique des robots se fait généralement sur des modèles simplifiés, obtenus en introduisant des hypothèses simplificatrice qui permettent de résoudre les équations qui représentent ces modèles.

Nous allons décrire la théorie sous-jacente aux problèmes de modélisation des robots de type SCARA tout en posant les hypothèses suivantes :

Chaque corps composant de robot est assimilé à un solide indéformable.

Chaque articulation ne possède qu'un seul degré de liberté.

3. But de la modélisation géométrique et les considérations [Khalil12]

On utilise la modélisation géométrique direct MGD pour agir sur les position X,Y,Z du robot, ainsi, on utilise la modalisation géométrique inverse MGI pour déterminé les cordonnées articulaire correspondante .

On prend en considération les butés et le repaire principal.

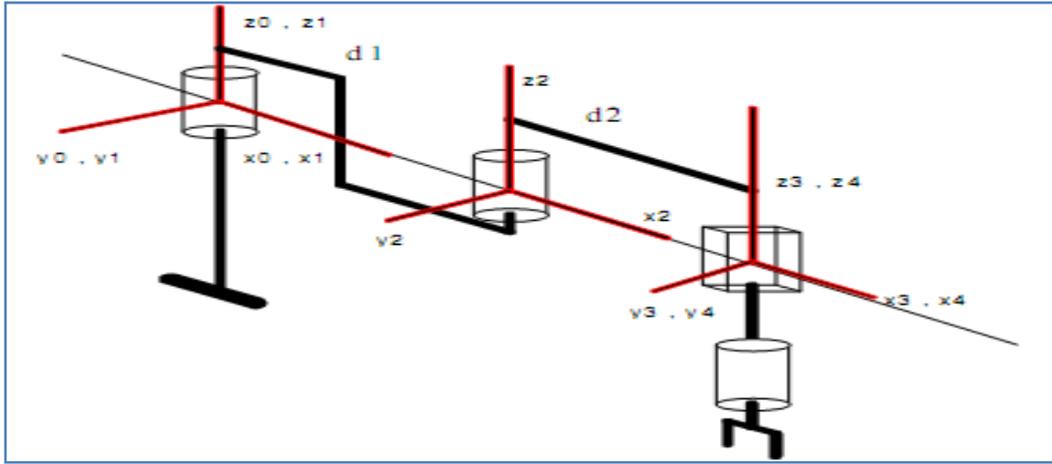


Figure 01 : Paramètres géométriques du robot SCARA [Obeid 15]

4. Paramètres géométriques pour une structure ouverte simple

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

$$d_j = (1 - \sigma_j) \theta_j + \theta_j r_j \tag{01}$$

$\theta_j = 0$ si l'articulation est rotoïde,

$\theta_j = 1$ si l'articulation est prismatique.

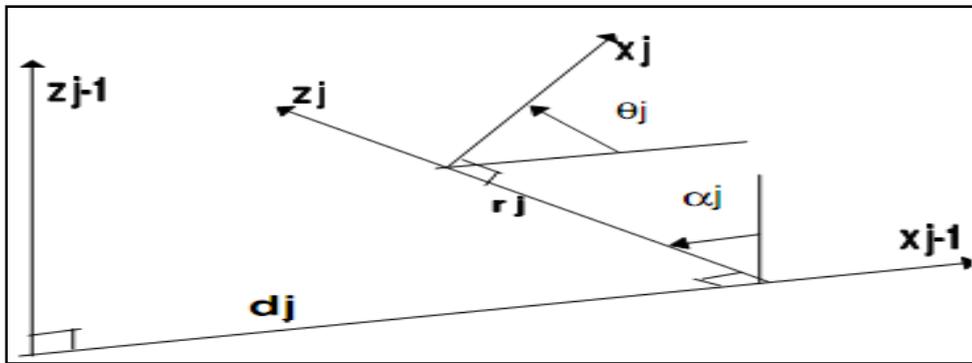


Figure 02 : Paramètres géométriques pour une structure ouverte simple [Obeid 15]

La matrice de transformation qui définit le repère R_j dans R_{j-1} est donnée par :

$${}^{j-1}T = \text{Rot}(X, \alpha_j) \text{Trans}(X, d_j) \text{Rot}(Z, \theta_j) \text{Trans}(Z, r_j) \tag{02}$$

$$= \begin{bmatrix} \cos\theta_j & -\sin\theta_j & 0 & d_j \\ \cos\alpha_j \sin\theta_j & \cos\alpha_j \cos\theta_j & -\sin\alpha_j & -r_j \sin\alpha_j \\ \sin\alpha_j \sin\theta_j & \sin\alpha_j \cos\theta_j & \cos\alpha_j & r_j \cos\alpha_j \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \tag{03}$$

5. Le Modèle Géométrique Direct (MGD) [Obeid 15]

Le modèle géométrique direct (MGD) d'un bras manipulateur exprime la situation de son Organe Terminal (OT) en fonction de sa configuration. Donc il exprime la position instantanée de l'OT par rapport au repère fixe lié au bâti.

Pour cela, le calcul du MGD implique de calculer les matrices de transformation de l'organe terminal.

$$F : N \rightarrow M$$

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

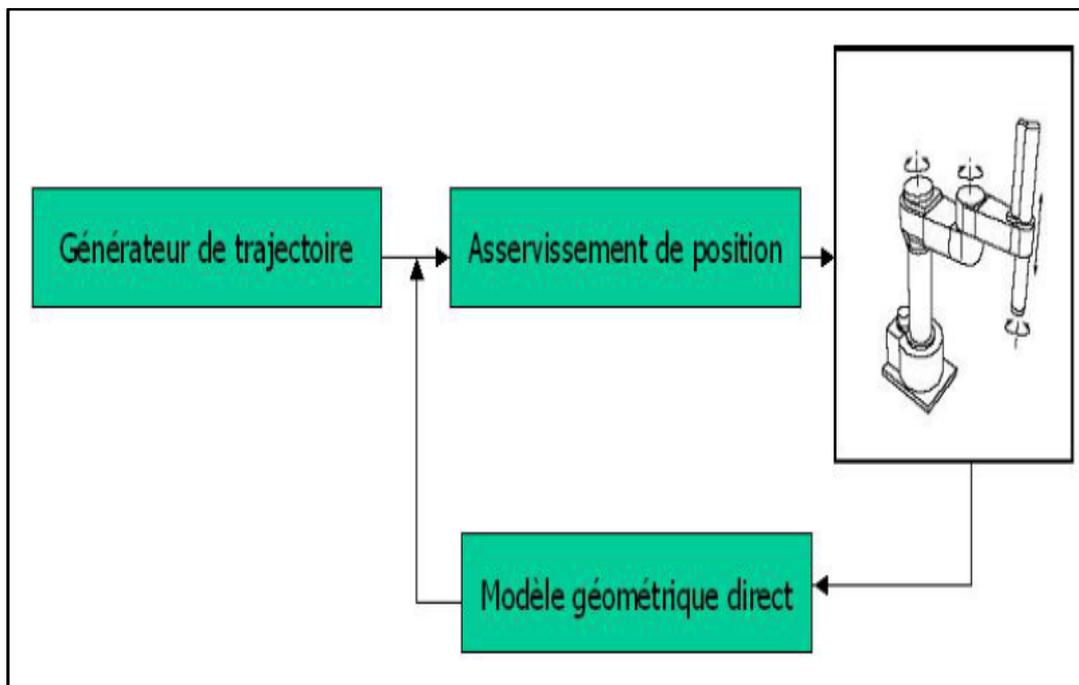
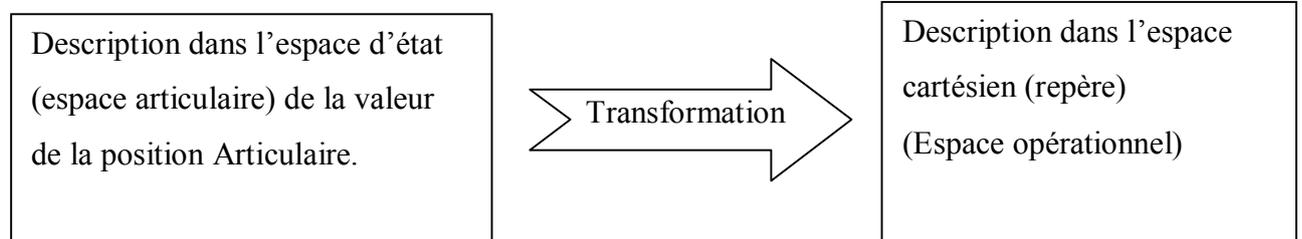


Figure 03 : Exemple d'utilisation du MGD _a la commande [Khalil 12]

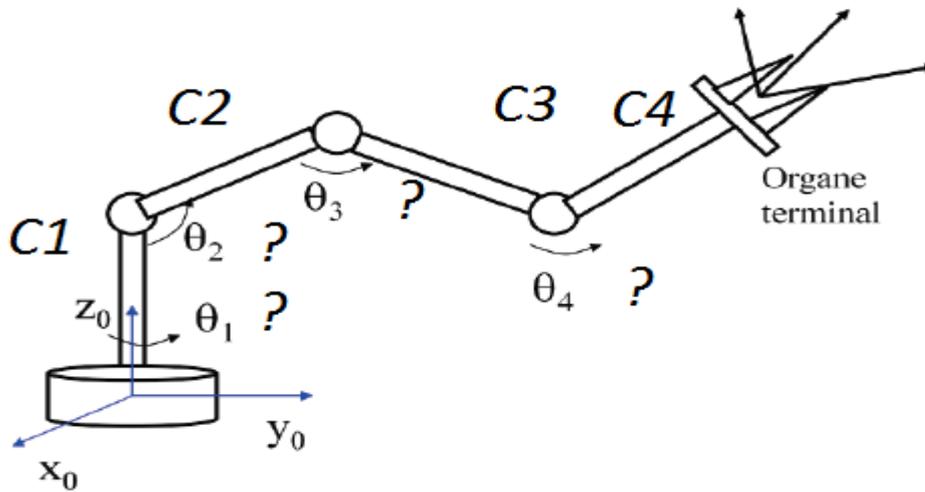


Figure 04 : SMA paramétrée [Obeid 15]

Paramètres de Denavit-Hartenberg

La méthode de Denavit-Hartenberg est la plus répandue. Dans nos calculs, on utilise DH non modifiée. Pour définir ces transformations, il est tout d'abord nécessaire de définir les axes des liaisons.

Les paramètres de Denavit-Hartenberg permettent de disposer d'un paramétrage des liaisons tel que les matrices de passage aient toutes la même forme littérale, ce qui facilite les calculs.

Le tableau suivant résume les paramètres de Denavit-Hartenberg associés au robot SCARA étudié.

articulations / paramètre DH	1	2	3	4
Σ	0	0	0	1
α_{i-1}	0	0	0	0
a_{i-1}	0	a_1	a_2	0
Θ_i	Θ_1	Θ_2	Θ_3	0
r_i	0	0	0	r_4

Tableau 01 : paramètres de Denavit-Hartenberg

À partir du tableau DH et compte tenu des matrices de transformation homogène étudiées, nous écrivons les matrices de transformation homogènes élémentaires ${}^i T_{i+1}$ de notre robot.

$$T_{i-1,i} = \begin{bmatrix} \cos\theta_i & -\sin\theta_i & 0 & d_i \\ \cos\alpha_i \sin\theta_i & \cos\alpha_i \cos\theta_i & -\sin\alpha_i & -r_i \sin\alpha_i \\ \sin\alpha_i \sin\theta_i & \sin\alpha_i \cos\theta_i & \cos\alpha_i & r_i \cos\alpha_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$${}^0 T_1 = \begin{bmatrix} C_1 & -S_1 & 0 & 0 \\ S_1 & C_1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (04)$$

Notations :

⇒ C et S désignent respectivement le cosinus et le sinus de la variable θ

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

$${}^1 T_1 = \begin{bmatrix} C_2 & -S_2 & 0 & d_1 \\ S_2 & C_2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (05)$$

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

$${}^2 T_3 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & d_2 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & r \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (06)$$

$$= \begin{bmatrix} \cos\theta_j & -\sin\theta_j & 0 & d_j \\ \cos\alpha_j \sin\theta_j & \cos\alpha_j \cos\theta_j & -\sin\alpha_j & -r_j \sin\alpha_j \\ \sin\alpha_j \sin\theta_j & \sin\alpha_j \cos\theta_j & \cos\alpha_j & r_j \cos\alpha_j \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad {}^3 T_4 = \begin{bmatrix} C_4 & -S_4 & 0 & 0 \\ S_4 & C_4 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (07)$$

$${}^0 T_1 = \begin{bmatrix} C_1 & -S_1 & 0 & 0 \\ S_1 & C_1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad {}^2 T_3 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & d_2 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & r \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$${}^1 T_1 = \begin{bmatrix} C_2 & -S_2 & 0 & d_1 \\ S_2 & C_2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad {}^3 T_4 = \begin{bmatrix} C_4 & -S_4 & 0 & 0 \\ S_4 & C_4 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Notation : C_i et S_i désignent respectivement le cosinus et le sinus de la variable θ_i

$$C_{ij} = \cos(\theta_i + \theta_j), \quad S_{ij} = \sin(\theta_i + \theta_j) \quad (08)$$

$${}^2 T_4 = {}^2 T_3 \times {}^3 T_4 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & d_2 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & r \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} C_4 & -S_4 & 0 & 0 \\ S_4 & C_4 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (09)$$

$${}^2 T_4 = {}^2 T_3 \times {}^3 T_4 = \begin{bmatrix} C_4 & -S_4 & 0 & d_2 \\ S_4 & C_4 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & r \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (10)$$

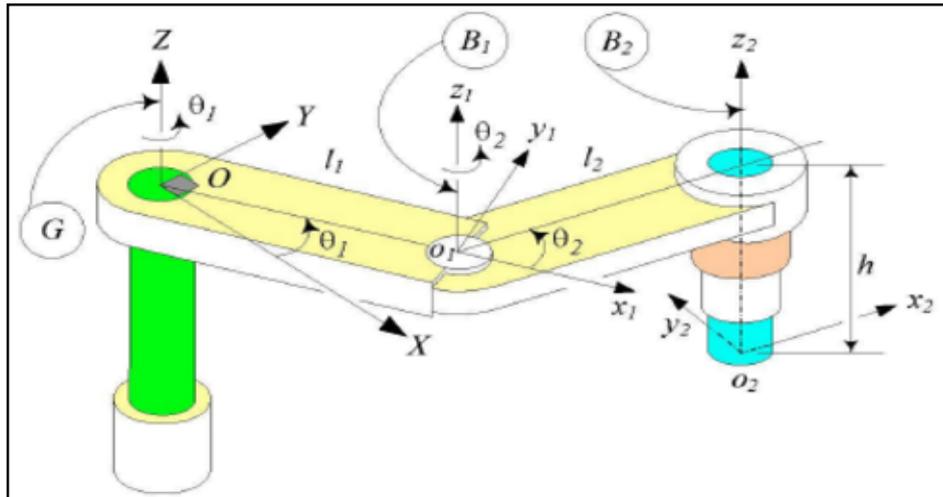


Figure 05 : La rotation des deux liens autour de son axe de rotation [Khalil 12]

6. Le Modèle Géométrique Inverse (MGI) [Obeid 15]

Le problème du modèle géométrique inverse peut être formulé comme suit: on souhaite amener l'outil dans une position déterminée, avec une orientation imposée, quels sont les déplacements au niveau des articulations.

Le MGI du robot permet de calculer les coordonnées opérationnelles en fonction des coordonnées articulaires. Le problème inverse consiste à calculer les coordonnées articulaires qui amènent l'organe terminal dans une situation désirée, spécifiée par ses coordonnées opérationnelles. Cette opération est très souvent appelée transformation de coordonnées (ou changement de coordonnées).

Lorsqu'elle existe, la forme explicite qui donne toutes les solutions possibles au problème inverse constitue ce que nous appelons le modèle géométrique inverse (MGI).

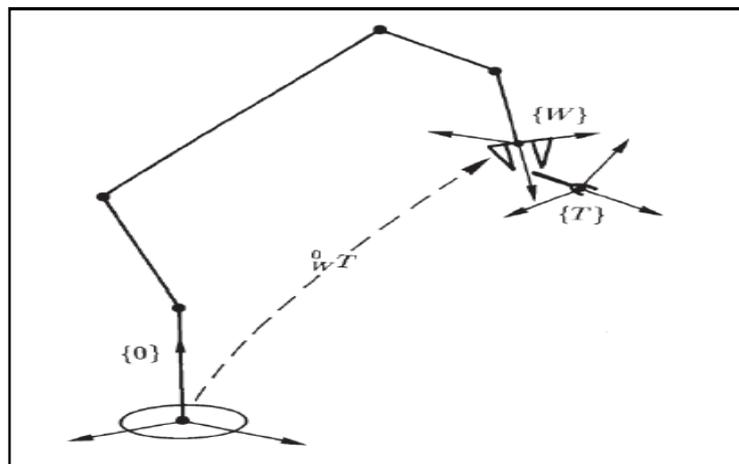


Figure 06 : Description schématique des différents référentiels [Khalil 12]

Nous allons utiliser la matrice de passage du repère R_0 au repère $R_4 : {}^0T_4$

La matrice U_0 est une donnée du problème, elle correspond à la situation désirée de l'organe terminal dans le repère R_0 .

Le système d'équations à résoudre est le suivant : $U_0 = {}^0T_4$

$$U_0 = \begin{bmatrix} S_x & n_x & a_x & P_x \\ S_y & n_y & a_y & P_y \\ S_z & n_z & a & P_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (11)$$

$${}^0T_4 = {}^0T_1 \times {}^1T_4 = \begin{bmatrix} C_{124} & -S_{124} & 0 & d_1C_1 + d_2C_{12} \\ S_{124} & C_{124} & 0 & d_2S_1C_2 + d_1S_1 + d_2C_1S_2 \\ 0 & 0 & 1 & r \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (12)$$

$$U_0 = \begin{bmatrix} S_x & n_x & a_x & P_x \\ S_y & n_y & a_y & P_y \\ S_z & n_z & a & P_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (13)$$

$${}^0T_4 = {}^0T_1 \times {}^1T_4 = \begin{bmatrix} C_{124} & -S_{124} & 0 & d_1C_1 + d_2C_{12} \\ S_{124} & C_{124} & 0 & d_2S_1C_2 + d_1S_1 + d_2C_1S_2 \\ 0 & 0 & 1 & r \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (14)$$

$$U_0 = \begin{bmatrix} S_x & n_x & a_x & P_x \\ S_y & n_y & a_y & P_y \\ S_z & n_z & a & P_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (15)$$

$${}^0T_4 = {}^0T_1 \times {}^1T_4 = \begin{bmatrix} C_{124} & -S_{124} & 0 & d_1C_1 + d_2C_{12} \\ S_{124} & C_{124} & 0 & d_2S_1C_2 + d_1S_1 + d_2C_1S_2 \\ 0 & 0 & 1 & r \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (16)$$

$$d_1 C_1 + d_2 C_{12} = P_x \quad (17)$$

Et
$$d_2 S_1 + d_2 S_{12} = P_y \quad (18)$$

En élevant au carré et en additionnant les expressions (1) et (2), nous obtenant :

$$d_1^2 + d_2^2 + 2d_1 d_2 (C_1 C_{12} + S_1 S_{12}) = P_x^2 + P_y^2 \quad (19)$$

Ce qui donne :
$$C_2 = (P_x^2 + P_y^2 - d_1^2 - d_2^2) / (2d_1 d_2) \text{ car } C_1 C_{12} + S_1 S_{12} = C_2 \quad (20)$$

D'où :
$$1 + \tan^2 \theta_2 = [(2d_1 d_2) / (P_x^2 + P_y^2 - d_1^2 - d_2^2)]^2 \quad (21)$$

De plus :
$$1 + \tan^2 \theta_2 = \frac{1}{C_2^2} \quad (22)$$

Ainsi :
$$\theta_2 = \text{Arctg}[\pm(\sqrt{1 - C_2^2/C_2})] \quad (23)$$

Les équations précédentes (1) et (2) peuvent s'écrire :

$$d_1 C_1 + d_2 (C_1 C_2 - S_1 S_2) = P_x \quad (24)$$

$$d_1 S_1 + d_2 (S_1 C_2 - S_2 C_1) = P_y \quad (25)$$

On peut écrire :

$$C_1 = (P_x + d_2 S_1 S_2) / (d_1 + d_2 C_2) \quad (26)$$

Et, en remplaçant dans (2), nous en déduisons :

$$S_1 = [P_y (d_1 + d_2 C_2) - d_2 S_2 P_x] / [(d_1 + d_2 C_2)^2 + d_2^2 S_2^2] \quad (27)$$

Maintenant, nous remplaçons cette expression dans (1) et nous avons :

$$C_1 = [P_x (d_1 + d_2 C_2) - d_2 S_2 P_y] / [(d_1 + d_2 C_2)^2 + d_2^2 S_2^2] \quad (28)$$

Nous pouvons alors en déduire :

$$\theta_1 = \text{Arctg} (S_1/C_1) \quad (29)$$

Enfin, connaissant θ_1 et θ_2 , nous pouvons déterminer θ_4 . En identifiant les matrices U_0 et 0T_4 nous pouvons écrire : $S_x = C_{124}$, $S_y = S_{124}$,

D'où :

$$\tan (\theta_1 + \theta_2 + \theta_4) = S_y / S_x \quad (30)$$

Et :

$$\theta_4 = \text{Arctg} (S_y / S_x) - \theta_2 - \theta_1 \quad (31)$$

7. Exemple d'application sur le robot SCARA

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

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

$$T_{01} = \begin{bmatrix} C1 & -S1 & 0 & 0 \\ S1 & C1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad T_{12} = \begin{bmatrix} C2 & -S2 & 0 & a1 \\ S2 & C2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (32)$$

$$T_{23} = \begin{bmatrix} C3 & -S3 & 0 & a2 \\ S3 & C3 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad T_{34} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & r4 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (33)$$

Pour exprimer la position et l'orientation de l'OT dans le repère O_0 lié à la base, il est impératif de calculer $T_{0,4}$ qui exprime le passage du repère O_4 au repère O_0 donné par la formule suivante :

$$T_{0,4} = T_{0,1} \cdot T_{1,2} \cdot T_{2,3} \cdot T_{3,4} \quad (34)$$

Pour des raisons de simplification (articulations de même type consécutives et parallèles), On commence par $T_{12} \cdot T_{23}$ pour trouver T_{13}

$$T_{1,3} = T_{1,2} \cdot T_{2,3} = \begin{bmatrix} C2C3 - S2S3 & -(C2S3 + S2C3) & 0 & C2a2 + a1 \\ S2C3 + C2S3 & -(S2S3 - C2C3) & 0 & S2a2 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (35)$$

$$\rightarrow T_{1,3} = \begin{bmatrix} C_{2+3} & -S_{2+3} & 0 & C_2 a_2 + a_1 \\ S_{2+3} & C_{2+3} & 0 & S_2 a_2 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (36)$$

Ensuite, calculer $T_{0,3}$

$$T_{0,3} = T_{0,1} \cdot T_{1,3} = \begin{bmatrix} C_1 C_{2+3} - S_1 S_{2+3} & -C_1 S_{2+3} - S_1 C_{2+3} & 0 & C_1(C_2 a_2 + a_1) - S_1 S_2 a_2 \\ S_1 C_{2+3} + C_1 S_{2+3} & -S_1 S_{2+3} + C_1 C_{2+3} & 0 & S_1(C_2 a_2 + a_1) + C_1 S_2 a_2 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (37)$$

$$\rightarrow T_{1,3} = \begin{bmatrix} C_{1+2+3} & -S_{1+2+3} & 0 & C_1(C_2 a_2 + a_1) - S_1 S_2 a_2 \\ S_{1+2+3} & C_{1+2+3} & 0 & S_1(C_2 a_2 + a_1) + C_1 S_2 a_2 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (38)$$

Et finalement $T_{0,4}$

$$T_{0,4} = T_{0,3} \cdot T_{3,4} = \begin{bmatrix} C_{1+2+3} & -S_{1+2+3} & 0 & C_1(C_2 a_2 + a_1) - S_1 S_2 a_2 \\ S_{1+2+3} & C_{1+2+3} & 0 & S_1(C_2 a_2 + a_1) + C_1 S_2 a_2 \\ 0 & 0 & 1 & r_4 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (39)$$

Ainsi, on obtient la matrice $T_{0,4}$ qui résume la position et l'orientation de l'OT par rapport à la base

$$\rightarrow T_{0,4} = \begin{bmatrix} C_{1+2+3} & \cdot & 0 & P_x = C_1(C_2 a_2 + a_1) - S_1 S_2 a_2 \\ S_{1+2+3} & \cdot & 0 & P_y = S_1(C_2 a_2 + a_1) + C_1 S_2 a_2 \\ 0 & \cdot & 1 & P_z = r_4 \\ 0 & \cdot & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Vecteur position de l'organe terminal

Exemple :

Calcule de la position du centre de la pince pour une configuration

Calculons la position du centre de la pince pour la configuration suivante :

$\theta_1 = +30^\circ$, $\theta_2 = -30^\circ$, $\theta_3 = 0$, $r_4 = 10$ cm, sachant que $a_1 = 40$ cm et $a_2 = 30$ cm

Dans ce cas, on doit calculer P_x , P_y

$P_z = r_4 = 10$ cm

Le tableau suivant résume les résultats trouvés, en substituant dans la formule de T04 trouvée précédemment :

a1 (cm)	a2 (cm)	t1(°)	t2	Px (cm)	Py (cm)	C1	C2	S1	S2
40	30	30°	-30°	64,6410	20,0000	0,8660	0,8660	0,5	-0,5

Tableau 02 : Résultat de calcul de position de l'OT.

$$\begin{aligned}
 P_x &= \cos(30^\circ) * (\cos(-30^\circ) * 30 + 40) - \sin(30^\circ) * \sin(-30^\circ) * 30 & (40) \\
 &= 0.8660 * (0.8660 * 30 + 40) - (0.5) * (-0.5) * 30 \\
 &= 57.1410 + 7.5 \\
 &= 64.6410 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P_y &= \sin(30^\circ) * (\cos(-30^\circ) * 30 + 40) + \cos(30^\circ) * \sin(-30^\circ) * 30 & (41) \\
 &= 32.9904 - 12.9904 \\
 &= 20.0000 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

8. Conclusion

La modélisation d'un robot, considéré comme étant un système mécanique articulé, actionné et commandé, consiste à en établir un modèle mathématique, Pour pouvoir commander cette robot il faut le modéliser avant, suivant les deux modèles à savoir le MGD et le MGI pour les implémenté dans le modèle virtuel ce qu'on va voir dans le chapitre suivant.

Chapitre IV

La Modélisation Virtuelle

1. Introduction

La simulation est maintenant un outil puissant pour la conception, la planification, l'analyse et la prise de décision dans différents domaines de recherche et de développement. En particulier, elle est devenue un outil stratégique en robotique, Nous allons présenter quelques exemples typiques d'animation/simulation de notre robot SCARA dans ce chapitre.

2. Simulation des systèmes robotisés

La simulation comprend la conception d'un modèle d'un système physique réel ou théorique, l'étude expérimentale du modèle, et l'analyse du résultat obtenu à partir de ce modèle.

Nous abordons ici la robotique du point de vue de la simulation des comportements et de l'animation.

Comme la simulation de mouvement joue le rôle central dans tous les systèmes robotisés, on y tient compte de la cinématique ou des modèles dynamiques des robots manipulateurs. Le choix de type de modèle à employer dépend de l'objectif du système de simulation. Par exemple, les algorithmes de planification de trajectoire dépendent des modèles cinématiques.

De même, la construction d'une cellule robotisée peut être simulée efficacement en employant seulement des modèles cinématiques des robots manipulateurs, sans considérer leur dynamique ou les modèles de commande. Par contre, pour concevoir les actionneurs, les modèles dynamiques sont nécessaires.

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

3. Outils de la simulation

Une grande quantité de logiciels de simulation est maintenant disponible pour des systèmes robotisés, et est déjà intensivement employée. Dans la plupart des cas, la simulation de robots est centrée sur les mouvements du robot manipulateur dans différents environnements.

Les outils avancés de simulation sont la base pour la conception des systèmes sophistiqués comme le sont les robots, pour l'utilisation des robots dans les environnements complexes et pour le développement de nouvelles stratégies et algorithmes de commande.

Auparavant, la simulation n'était qu'un outil pour l'analyse d'un système robotisé et pour la planification de la tâche robotique. Maintenant c'est une plateforme ouverte pour développer/créer de nouveaux systèmes robotisés. Non seulement les outils modernes de simulation permettent de simuler et visualiser le monde réel d'une manière très plausible,

Mais aussi ils permettent d'aller au de la réalité. En particulier, les chercheurs peuvent créer les environnements virtuels expérimentaux selon leur propre imagination.

4. Le rôle de la simulation/animation

Dans le domaine de la robotique, la simulation joue un rôle très important, peut-être plus important encore que dans beaucoup d'autres domaines.

En fait, la simulation est très utile pour attrapper la réalité dans toute sa complexité. Nous essayons de construire des objets artificiels et de les animer dynamiquement. Le concept d'apprentissage est essentiel dans la simulation. En utilisant la simulation nous pouvons apporter des améliorations au modèle et tout en modifiant « la règle de fonctionnement » nous pouvons observer les résultats des modifications apportées. La visualisation est un autre aspect important de la simulation.

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

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

5. Modélisation virtuelle [Modeli 06]

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

5.1 But de la Modélisation virtuelle

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

5.2 Choix de l'outil

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

6. Processing [Process 07]

Autrefois typographié « Processing », est une bibliothèque java et un environnement de développement libre (sous licence GNU GPL), créé par Benjamin Fry et Casey Reas, deux artistes américains. Processing est le prolongement « multimédia » de Design by numbers.

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

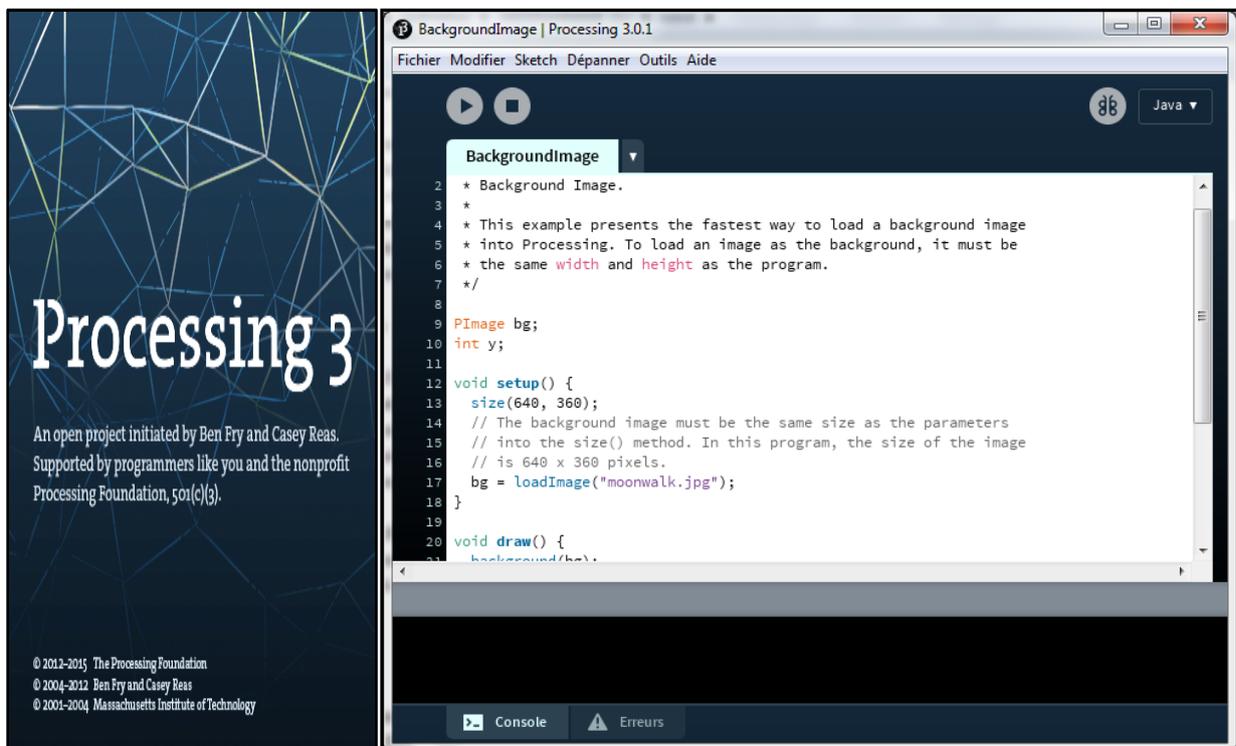


Figure 01 : Espace de travail Processing

Avantage de processing

Processing est un logiciel gratuit à base de langage java

- Facile à manipuler avec un minimum de fonctions
- Offre la simulation en 3D
- Possibilité d'exporter en page WEB – Application Androïde.

Méthodologie

Nous avons plusieurs instructions :

- Déclaration :

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

- Initialisation : void setup
- Dessin : void draw
- Fonction liée à la souris : void mouse dragged (glissement)
- Fonction liée au clavier : void keyPressed (touche)

Exemple

(draw)

```
void draw() {
  box(400, 300, 400);
  translate(0, 0, 0);
}

void mouseDragged() {
  rotY -= (mouseX - pmouseX) * 0.01;
  rotX -= (mouseY - pmouseY) * 0.01;
}
```

7. Modélisation virtuelle du robot SCARA

7.1. Construction du robot

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

On commence par les composants suivants dans Processing :

- Base (la base du robot)
- Shoulder ----- avant bras
- Up arm ----- bras
- End ----- organe terminal (effecteur)

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

Exemple

Construction de la base dans Processing :

```
void Draw()
  Translate(0, 0, 0);
  Box(400, 300, 400);
```

On exporte vers un fichier .OBJ, puis on l'insère dans l'arborescence du robot en prenant en considération la position, rotation, translation d'objet (base).

Ainsi, l'insertion des autres objets dans l'arborescence du robot se fait de la même manière,

```
RotateX(rotX);
RotateY(-rotY);
Shape(base);
```

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

7.2. L'animation du robot

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

Souris

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

Clavier

Pour agir sur les articulations du robot :

Articulation rotoïde liée au Shoulder : Gamma : ++A , --Z

Articulation rotoïde liée au up Arm : Alpha : ++Q, --S

Articulation rotoïde liée à l'organe terminal Theta : négligeable

Articulation prismatique liée à l'organe terminal R : ++L, --M

Effet de Zoom : touche clavier ↑ : ++, touche clavier ↓ : --

Scale → Echelle (-1).

```
void keyPressed() {
  if(key=='u') {beta+=0.05;}
  else if(key=='d') {beta-=0.05;}

  else if(key=='a') {alpha+=0.05; if (alpha>5*PI/6) alpha=5*PI/6;}
  else if(key=='z') {alpha-=0.05; if (alpha<-5*PI/6) alpha=-5*PI/6;}
  else if(key=='q') {gamma+=0.05; if (gamma>3*PI/4) gamma=3*PI/4;}
  else if(key=='s') {gamma-=0.05; if (gamma<-3*PI/4) gamma=-3*PI/4;}

  else if(key=='w') {teta+=0.05;} //négligeable
  else if(key=='x') {teta-=0.05;} //négligeable

  else if(key=='l') { if (r40>0) r40-=5;}
  else if(key=='m') { if (r40<290) r40+=5;}

  else if(key=='c') { pxi-=0.01; if(pxi<0.618) pxi=0.618;}
  else if(key=='v') { pxi+=0.01; if(pxi>0.848) pxi=0.849;}

  else if(key=='b') { pyi-=0.01; if(pyi<-0.578) pyi=-0.578;}
  else if(key=='n') { pyi+=0.01; if(pyi>0.582) pyi=0.582;}
```

```

//else if(key=='d'){ mgd=!mgd; mgi=!mgi; cmd="MGI";}

if (key==CODED) {
if(keyCode==UP) {zoom+=0.5;}
else if(keyCode==DOWN) {zoom-=0.5;}

elseif(keyCode==RIGHT) {gamma+=0.05;if(gamma>3*PI/4) gamma=3*PI/4;}
elseif(keyCode==LEFT) {gamma-=0.05;
                if (gamma<-3*PI/4) gamma=-3*PI/4;}

}
}

```

7.3 Affichage instantané des résultats de calcul du MGD et MGI

L’Affichage instantané de Gamma, Alpha et R se fait sur l’écran à chaque animation du robot, les valeurs affichées représentent la mise à jour de la configuration géométrique du robot.

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

La portion du code source suivant détaille.

```

voiddraw() {
...
...

// Affichage instantané des valeurs des articulations
text("Commande: ",100,150);text( cmd,180,150);
text("gamma (rad): ",100,200);text( gamma,180,200);
text("q(+)",50,190); text("s(-)",50,210);

    text("alpha (rad): ",100,250);text( alpha,180,250);
text("a(+)",50,240); text("z(-)",50,260);

    text("r40 (m): ",100,300);text( r40,150,300);
text("m(+)",50,290); text("l(-)",50,310);

text("Modelegeometrique direct ",100,350);

//formule MGD

```

```

px=d1*cos(gamma) + d2*cos(gamma+alpha);
py=d1*sin(gamma) + d2*sin(gamma+alpha);
pz=r40*0.001;

    text( "Position X (m): " , 100,400);    if(mgd) text( px ,180,400);
else text( pxi ,180,400);
    text( "Position Y (m): " , 100,450);    if(mgd) text( py ,180,450);
else text( pyi ,180,450);
text( "Position Z (m): " , 100,500);    text( pz ,180,500);

    // formule MGI

//alpha
    c2=(pxi*pxi+pyi*pyi-d1*d1-d2*d2)/(2*d1*d2);
    t2=atan(sqrt(1-c2*c2)/c2);
text( "teta2 (rad): " ,100,600);    text( t2 ,180,600);

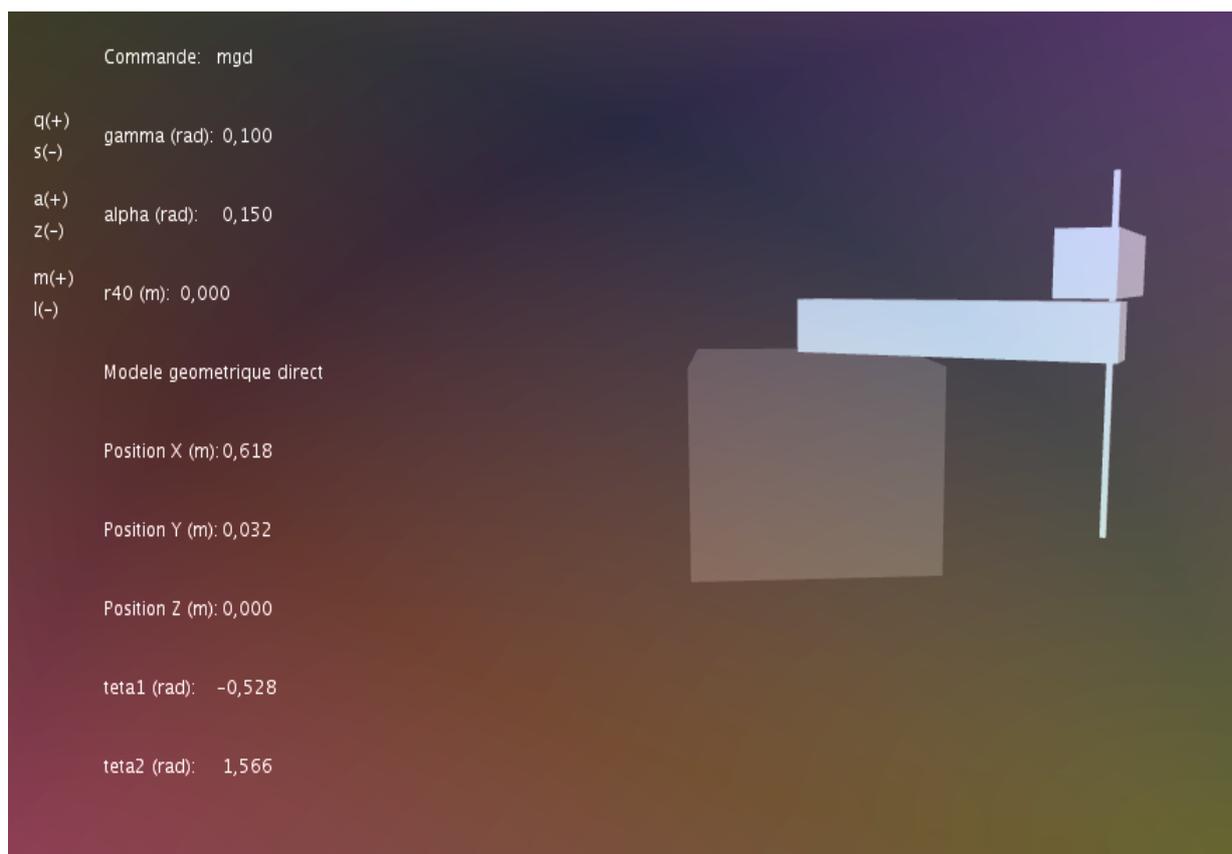
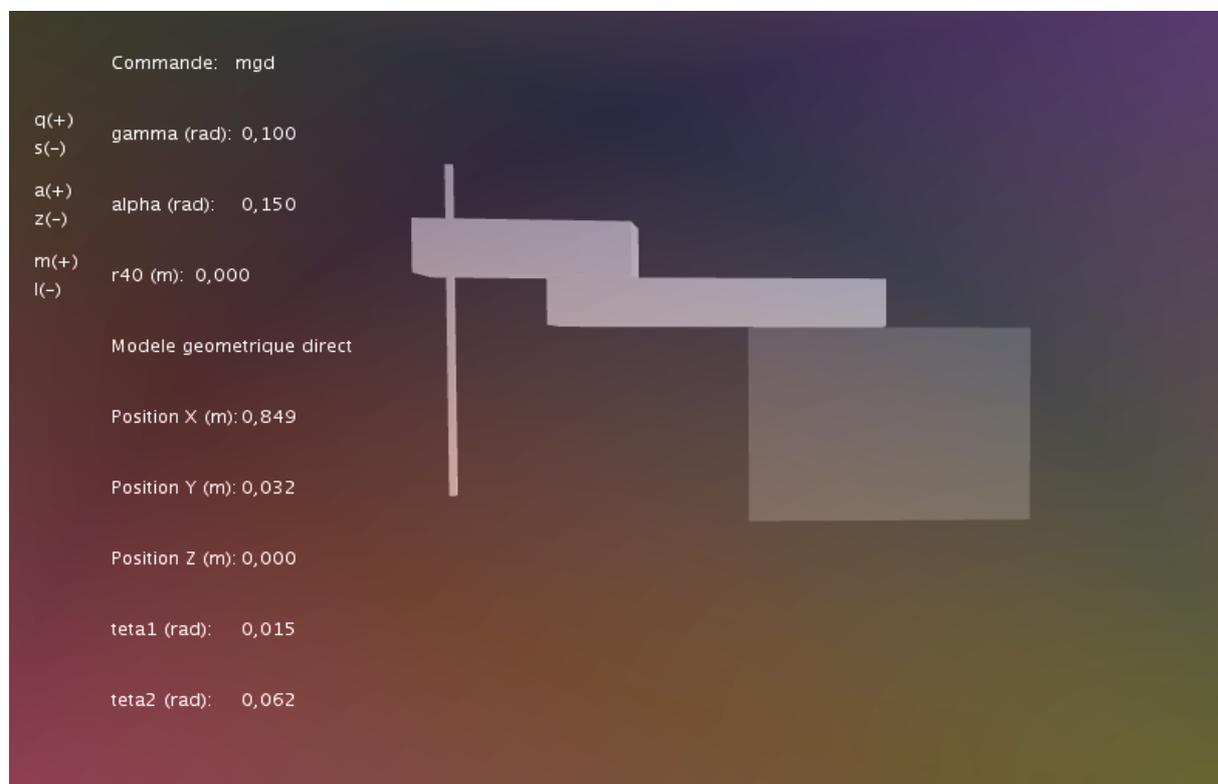
//gamma
    s2=sin(t2);
    s1=(pyi*(d1+d2*c2)-d2*s2*pxi)/((d1+d2*c2)*(d1+d2*c2)+d2*d2*s2*s2);
    c1=(pxi*(d1+d2*c2)-d2*s2*pyi)/((d1+d2*c2)*(d1+d2*c2)+d2*d2*s2*s2);
t1=atan(s1/c1);
text( "teta1 (rad): " ,100,550);    text( t1 ,180,550);

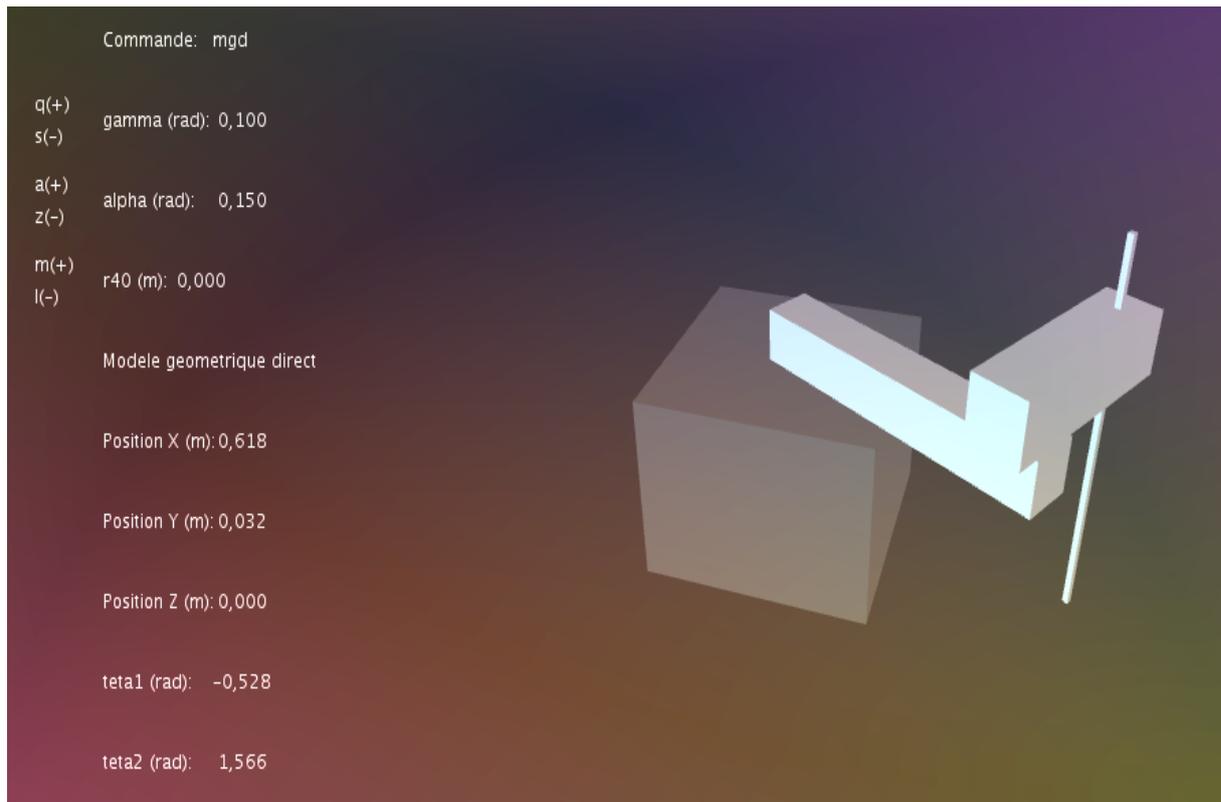
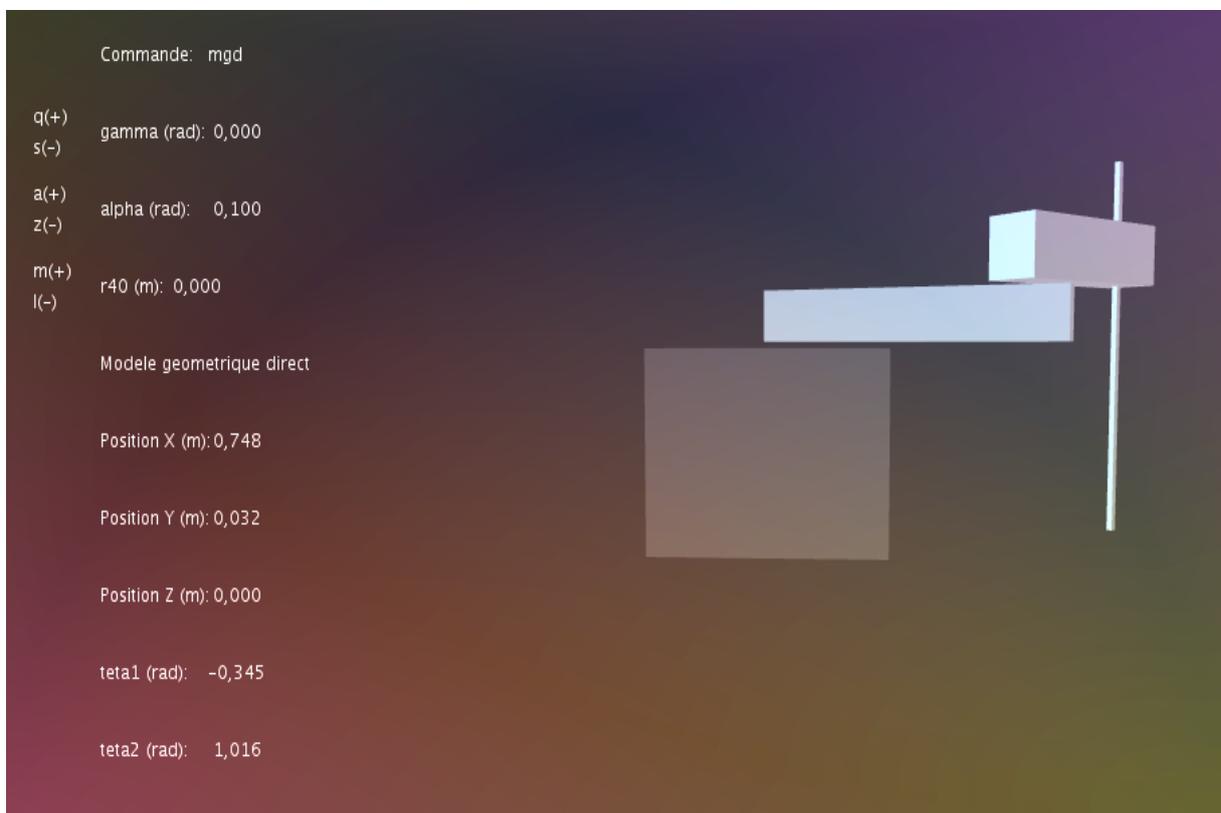
...
...
}

```

7.4. Résultat et Tests

Les figures suivantes illustrent les résultats de l'application du Modèles Géométrique Directe sur le robot, la déformation correspondante et l'affichage instantané des valeurs des différentes articulations, à savoir : alpha, gamme et r40, ainsi que les touches de clavier nécessaires pour agir sur une telle articulation.

**Figure 02** : résultat de simulation N01**Figure 03** : résultat de simulation N02

**Figure 04** : résultat de simulation N03**Figure 05** : résultat de simulation N04

Le tableau suivant présente les résultats obtenus lors du test du MGD

N°	Gamma (rad)	Alpha (rad)	R40 (m)	Px	Py	Pz
1	-0.650	1.500	0.010	0.630	-0.074	0.010
2	-0.700	1.050	70.000	0.707	-0.227	0.070
3	1.250	-0650	15.000	0.434	0.682	0.015
4	1.750	0.950	60.000	-0.387	0.655	0.060

Tableau 01 : résultats obtenus lors du test du MGD

8. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons abordé la modélisation virtuelle et ses principes, ainsi, on a construit un robot de type SCARA dans la version virtuelle à l'aide de programme Processing, nous avons appris comment appliquer les différentes instructions dans ce frame work pour construire les composantes du robot et les assembler pour finalement obtenir un résultat sous forme d'un robot en 3D, ayant la possibilité de se faire contrôlé à l'aide des touches de clavier ou bien de la souris, et ainsi, la mise à jour géométrique et opérationnelle est affichée instantanément, ce qui aide pour mieux contrôler le robot.

Conclusion générale

Conclusion générale

Le travail que nous avons présenté porte sur la modélisation des robots industriels et plus spécifiquement la modélisation géométrique d'un robot manipulateur type SCARA.

Nous avons abordé la modélisation en appliquant la convention de Denavit-Hartenberg pour le calcul du modèle géométrique qui nous a permis la localisation de l'effecteur à n'importe quel point de l'espace de travail.

La modélisation géométrique directe nous a permis de déterminer la position de l'organe terminal.

La modélisation géométrique inverse a permis de déterminer les angles des articulations.

Le travail effectué nous a permis d'étudier n'importe quels robots industriels pour les différentes stations d'usinage dont le but d'augmenter la productivité de n'importe quel atelier d'usinage.

Perspectives

En ce qui concerne ses améliorations ultérieures pour un même travail, il est recommandé aux personnes devant poursuivre ce travail de : Faire une étude bien détaillée sur la modélisation géométrique en tenant compte les caractéristiques dynamiques et les erreurs statiques et dynamiques ainsi que la précision.

Il est à noter que le rapprochement entre l'université et l'industrie est seule et unique moyen pour le développement industriel et avec le soutien d' ALLAH on peut résoudre les problèmes existants dans ce monde.

Références bibliographiques

[Duysinx 11] Pierre Duysinx, « Eléments de robotique-Aspects mécaniques », Département PROMETHE, (Productique, Mécanique et Thermodynamique) ,2011.

[Boimond 04] Jean-Louis Boimond, ISTIA, Université Angers, 2004.

[Gangloff 03] Jacques Gangloff , «Cours de robotique», ENSPS Master ISTI, 2003

[Obeid 15] Obeid Mohammed Amine, Benkaddour Moussa, « Robotique industrielle – étude du robot SCARA », mémoire de Licence GEII, Institut de Technologie, Tiaret, 2015.

[Khalil 12] Wissama khalil, Etienne Dombre, « Bases de la modélisation et de la commande des robots-manipulateurs de type série cours robotique », Fondation UNIT, 08-05-2012.

Resources web

[Rob_ind 01] https://fr.wikipedia.org/wiki/Robotique_industrielle (consulté le 20/02/2016)

[Rob_app 03] <http://jf.duchet.pagespersoorange.fr/robotique/Pages/applications.htm>(consulté le 27/02/2016)

[Scara wiki] <https://en.wikipedia.org/wiki/SCARA>

[ind_robot app] <http://global.yamaha-motor.com/business/robot/lineup/application/ykxg/>.

[Modeli 06] <http://rvirtual.free.fr/modelisations/modelisa.htm>(consulté le 12/03/2016).

[Process 07] <https://processing.org/> (consulté le 05/04/2016).

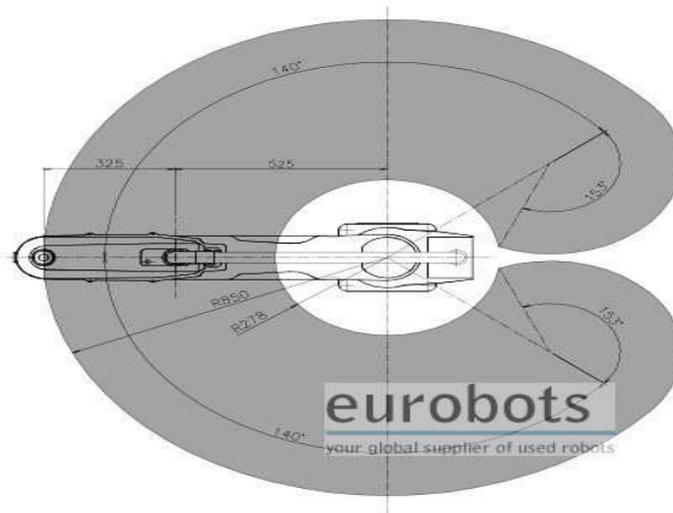
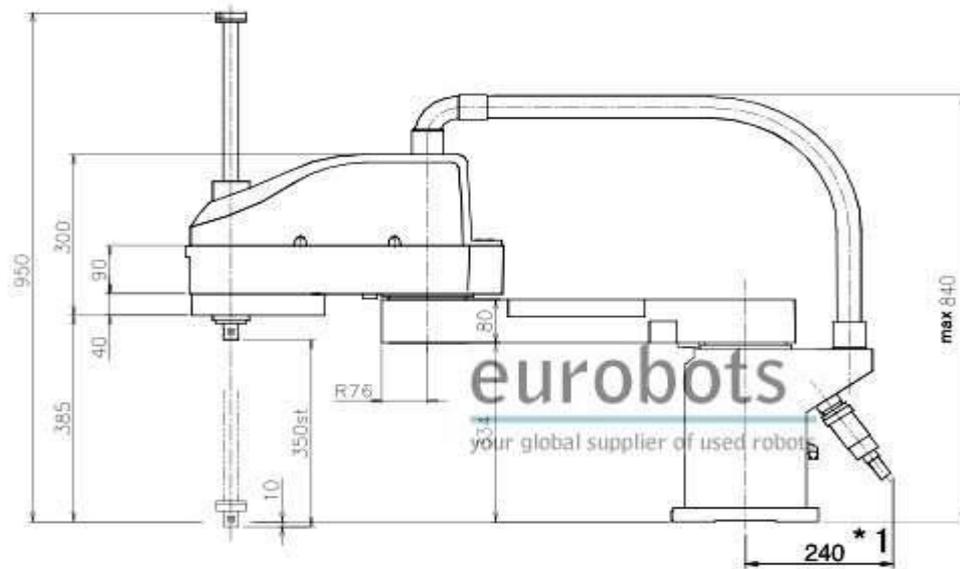
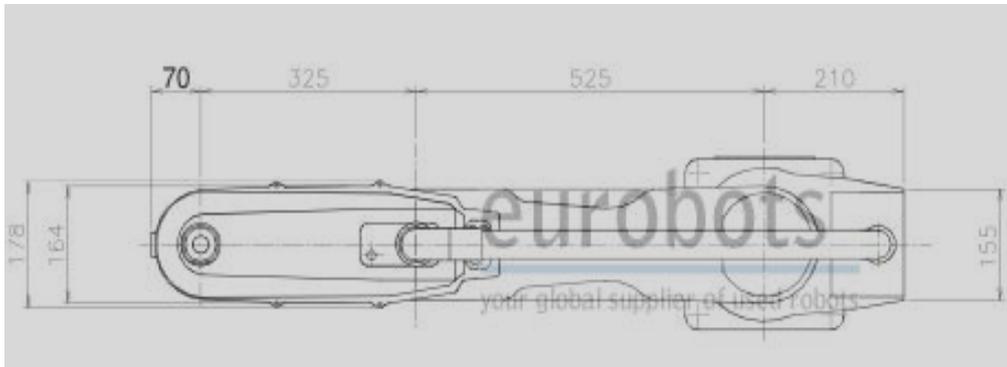
Références des figures

[Rob_source]https://www.google.dz/search?q=robot+industriel&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwjO-7-5uL7NAhWOzRoKHRVFB5wQ_AUICCGB (consulté le 23/02/2016)

[Eurobots] <http://www.eurobots.es/> (consulté le 25/02/2016)

[Obeid 15] Obeid Mohammed Amine, Benkaddour Moussa, « Robotique industrielle – étude du robot SCARA », mémoire de Licence GEII, Institut de Technologie, Tiaret, 2015.

Annexes



ملخص :

العمل الذي تم مناقشته في هذه المذكرة يتضمن دراسة ذراع آلية من نوع سكارى كذلك النمذجة الهندسية المباشرة والعكسية وتطوير نموذج افتراضي ثلاثي الأبعاد التي تطبق على حد سواء النماذج الهندسية المباشرة والعكسية لمحاكاة مهمة روبوتية. ويعرض الجزء الأول الروبوتات الصناعية ويحدد الشروط الأساسية لهذا الميدان . والثاني يعطي مظاهره على الروبوت الصناعي سكارى وخصائصه. ويخصص الجزء الثالث لتطبيق النمذجة الهندسية في حالة وجود روبوت من نوع سكارى يحتوي النماذج المباشرة والعكسية . ويعرض القسم الأخير أداة تقنية "معالجة" التي يتم استخدامها لتنفيذ النماذج اللازمة لمحاكاة التحكم في الروبوت باستعمال النموذج الظاهري.

Résumé :

Le travail abordé dans ce mémoire consiste en l'étude d'un robot manipulateur de type SCARA, sa modélisation géométrique directe et inverse ainsi que le développement d'un modèle virtuel en 3D qui implémente les deux modèles géométriques MGD et MGI, en vue de la simulation d'une tâche robotique. La première partie présente la Robotique industrielle, et définit les principaux termes du domaine. La seconde donne une démonstration sur le robot industriel SCARA et ses caractéristiques. La troisième partie est consacrée à une application de la modélisation géométrique dans le cas d'un robot de type SCARA. Il s'agit des modèles direct et inverse. La partie présente l'outil informatique « Processing » qui permet d'implémenter les modèles nécessaires pour simuler la commande du robot en modèle virtuel.