



Université Mohamed Khider de Biskra
Faculté des sciences et de la technologie
Génie mécanique

MÉMOIRE DE MASTER

Domaine : Sciences et Techniques
Filière : Génie Mécanique

Spécialité : Construction Mécanique

Réf. :

Présenté par :
HABOUSSI SABRINA

Le : 29 Septembre 2020

Titre

**Etude cinématique et géométrique d'un
robot à 6 ddl**

Jury :

Dr. SEDIRA Lakhdar	MCA	Université de Biskra	Président
Dr. MEFTAH Kamel	MCA	Université de Biskra	Rapporteur
Dr. MASRI Tahar	MCB	Université de Biskra	Examineur

Année universitaire : 2019 - 2020

Remerciements

En premier lieu, on remercie Dieu tout puissant de nous avoir aidés pour arriver à terme de ce travail.

On tient à remercier nos familles,

On tient à remercier vivement notre encadreur

Monsieur **KAMEL MEFTA**H.

Pour sa disponibilité et son aide tout au long de ce travail.

On tient à remercier tous nos collègues et tous les enseignants du département génie mécanique.

On tient à exprimer nos remerciements à toutes les personnes qui nous ont aidés dans l'accomplissement de ce mémoire.

DEDICACES

Je dédie ce modeste mémoire :

A mes adorables parents qui m'ont toujours encouragé durant toute ma vie.

A mes frères et sœurs à qui je souhaite beaucoup de bonheur et de réussite.

A tous mes ami(e)s et à toutes les personnes qui ont une place spéciale dans mon cœur et ma vie.

A tous les étudiants Master 2 mécanique.

ملخص:

يتكون العمل الذي تمت مناقشته في هذه الأطروحة من ثلاثة فصول ، يقدم الفصل الأول تاريخاً موجزاً للروبوتات وأنواعها المختلفة ، كما يحلل المكونات المختلفة للروبوت المناور الذي هو موضوع دراستنا. الفصل هو تقديم بعض التعاريف الأساسية ووصف المكونات التكنولوجية للإنسان الآلي. في الفصل الثاني تناولنا مبادئ دراسة الروبوتات ودرسنا الاتصال وآليات تشغيل الروبوتات بالإضافة إلى التحكم في الروبوتات التي تتطلب حساب بعض النماذج الرياضية والجزء الثالث خصصناه لدراسة علم الحركة والإحصاء للتحكم في سرعة حركة الروبوت لمعرفة وقت تنفيذ المهمة.

Résumé :

Le travail abordé dans ce mémoire comporte en trois chapitres le premier chapitre donne un bref historique sur la robotique et les différents types de robot, analyse aussi les différents constituants d'un robot manipulateur qui est l'objet de notre étude. L'objet du premier chapitre est d'apporter quelques définitions de base et décrire les constituants technologiques d'un robot. Dans le deuxième chapitre avons abordé les principes les plus élémentaires de l'étude des robots on va étudier la liaison et la mécanique de fonctionnement des robots en plus la commande des robots nécessitent le calcul de certains modèles mathématiques. la troisième partie est consacrée à l'étude cinématique et statique pour contrôler la vitesse de déplacement du robot afin de connaître la durée d'exécution d'une tâche.

Abstract :

The work discussed in this thesis comprises three chapters the first chapter gives a brief history of robotics and the different types of robot, also analyzes the different constituents of a manipulating robot which is the subject of our study. chapter is to provide some basic definition and describe the technological constituents of a robot. In the second chapter we have approached the most elementary principles of the study of robots we will study the connection and the operating mechanics of robots in addition to the control of the robots require the calculation of certain mathematical models. the third part is devoted to the kinematic and static study to control the speed of movement of the robot in order to know the duration of execution of a task.

Table des matières

Liste de matières	
Liste des figures	
Introduction générale	1
<i>Chapitre I : Généralités sur les robots industriels</i>	
I.1. Définition	4
I.2. L'histoire de la robotique	4
I.3. Types de robots	7
I.3.1. Robot mobiles	8
I.3.2. Robots manipulateurs	8
I.4. Robots industriels	8
I.5. Bras manipulateurs	9
I.6. Constituant d'un robot	9
I.6.1. Actionneurs	9
I.6.2. Système mécanique articulé (S.M.A)	10
I.6.3. Articulations	10
I.5.3.1. Articulations prismatiques	10
I.5.3.2. Articulations rotides	11
I.6.4. Organe terminal	11
I.6.5. Capteurs	11
I.6.6. Commande	11
I.7. Classification des robots	12
I.7.1. Point de vue fonctionnel	12
I.7.1.1. Manipulateur à commande manuelle	12
I.7.1.2. Manipulateur automatique à cycles prééglés	12
I.7.1.3. Robots programmables	13
I.7.1.4. Robots intelligents	14
I.7.2. Classification géométrique	14
I.7.2.1. Structure cartésienne (PPP)	14
I.7.2.2. Structure cylindrique (RPP) ou (PRP)	15
I.7.2.3. Structure sphérique ou polaire à axe de rotation orthogonale (RPP)	16
I.7.2.4. Structure dite SCARA	16
I.7.2.5. Structure anthropomorphe (RRR)	17
I.8. Domaines d'application de la robotique	17
I.8.1. Industriel	17
I.8.2. Médical	17
I.8.3. Spatial	17

Chapitre II : Théorie des mécanismes

II.1. Mécanique de robots manipulateurs	20
II.1.1. Positionnement d'un solide dans l'espace	20
II.1.2. Mécanismes	20
II.1.3. Architecture et morphologie des robots manipulateurs	21
II.2. Description des bras manipulateurs	22
II.2.1. Morphologie et chaîne cinématique d'un bras manipulateur	21
II.2.2. Configuration articulée (RRR)	23
II.2.3. Configuration sphérique (RRP)	23
II.2.4. Configuration SCARA (RRP)	24
II.2.5. Configuration cylindrique (RPP)	25
II.2.6. Configuration cartésienne (PPP)	25
II.3. Structure mécanique	25
II.4. Tableaux de liaisons	27
II.4.1. Représentation de la liaison plane	27
II.4.2. Représentation de la liaison spatiale	27
II.5. Espace articulaire, espace opérationnel et modèle de transformation entre les espaces	28
II.6. Degré de liberté et de mobilité	28
II.7. Etude de chaîne de solides indéformable	28
II.7.1. Liaison équivalent	29
II.7.2. Torseurs de la liaison équivalente un ensemble de liaison en parallèle	29
II.7.3. Torseurs de la liaison équivalente un ensemble de liaison en série	30
II.7.4. Chaîne continue fermée	31
II.7.5. Chaîne complexe	32
II.7.6. Nombre cyclomatique d'une chaîne complexe	32
II.8. Description des matrices de transformation	33
II.8.1. Description d'un solide dans l'espace	36
II.8.2. Description d'une structure géométrique du robot	36
II.9. Paramètre de Denavit-Hartenberg	38
II.10. Modèle géométrique direct d'un robot manipulateur	40
II.10.1. Représentation des coordonnées opérationnelles	40
II.10.2. Angles d'Euler	41
II.11. Espace de travail	42

Chapitre III : Modélisation et schématisation cinématique

III.1.1. définition de la chaîne ouverte constituant d'un robot	45
III.1.1.1. Repérage des solides	45
III.1.2. Repérage et définition des liaisons entre solides	45
III.1.3. Ecriture des torseurs associés aux deux liaisons simples	45
III.2. Chaîne continue ouverte	46
III.2.1. Définition	46
III.2.2. Numérotage des pièces et des liaisons	47
III.2.3. Paramétrage des positions relatives des pièces de 0 à n	47
III.3. Etude de mécanisme d'un robot à 3 axes	49
III.3.1. Paramétrage	49
III.3.2. Définition de la matrice de changement de base	50
III.4. Etude cinématique d'un robot à 3 axes	51
III.4.1. Torseurs cinématiques associés à chaque liaison	52
III.4.2. Torseur cinématique équivalent	53
III.5. Etude statique d'un robot à 3 axes	56
Conclusion générale	60
Annexes	
Bibliographies	
Résumé	

Liste des Figure

Chapitre I : Généralités sur les robots industriels

Fig. I.1. De gauche à droite :(a) Horloge a eau de Clépsydre, (b) Théâtre mobile de Héron D'Alexandrie, (c) Canard digérateur de Jacquesde Vaucanson	4
Fig. I.2. Unimate, Premier robot industriel	5
Fig. I.3. Opportunity	6
Fig. I.4. Robonaut	6
Fig. I.5. Graphique représentant l'estimation des expéditions annuelles mondiales de robots industriels par régions	7
Fig. I.6. Robot mobile	7
Fig. I.7. Bras Manipulateur	8
Fig. I.8. Constituant d'un robot	9
Fig. I.9. Représentation d'une articulation prismatique	10
Fig. I.10. Représentation d'une articulation rotoïde	11
Fig. I.11. Manipulateur à commande manuelle	12
Fig. I.12. Manipulateur à cycle préréglé	13
Fig. I.13. Robot programmable	13
Fig. I.14. Robot intelligent	14
Fig. I.15. Structure (PPP)	15
Fig. I.16. Structure (RPP)	15
Fig. I.17. Structure (RRP)	16
Fig. I.18. Structure SCARA	16
Fig. I.19. Structure (RRR)	17

Chapitre II: Théorie des mécanismes

Fig. II.1. Orientation d'un solide dans l'espace	20
Fig. II.2. Graphe non normalisé de quelques mécanismes	21
Fig. II.3. Structure de robot à poignet de type rotule correspond à celle des robots	22
Fig. II.4. Chaîne cinématique d'un bras manipulateur série	22
Fig. II.5. Configuration (RRR)	23
Fig. II.6. Configuration (RRP)	24
Fig. II.7. Configuration SCARA (RRP)	24
Fig. II.8. Configuration cylindrique (RPP)	25
Fig. II.9. Configuration cartésienne (PPP)	26
Fig. II.10. Robot à chaîne ouverte simple	26
Fig. II.11. Graphe de liaison	29
Fig. II.12. Liaison équivalent à un ensemble en parallèle	29
Fig. II.13. Chaîne continue ouvert	30
Fig. II.14. Chaîne continue fermée	31

Liste des Figure

Fig. II.15. Transformation d'un repère	34
Fig. II.16. Matrice de transformation pure	35
Fig. II.17. Transformation d'un repère à translation pure	35
Fig. II.18. Robot à structure ouvert et simple	37
Fig. II.19. Représentation de paramètre de D-H	38
Fig. II.20. Convention d'Euler XYZ	42
Fig. II.21. Mode de fonctionnement singularités (noir), singularités parallèle (pointillés)	43

Chapitre III : Modélisation et schématisation cinématique

Fig.III.1. Repère de la liaison entre solide	45
Fig.III.2. Robot à structure ouvert simple	46
Fig.III.3. Robot à structure ouvert simple	47
Fig.III.4. Présentation du paramétrage de la positions relative des Pièces	48
Fig.III.5. Présentation graphe cinématique de robot à 3 axes	49
Fig.III.6. Présentation schéma cinématique de robot à 3 axes	50

Introduction Générale

INTRODUCTION GENERALE

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

Aujourd'hui, il existe plusieurs types de robots conçus pour des tâches bien spécifiques. Les robots industriels actuellement en service sont des robots de type manipulateur. Ils sont bien implantés dans les procédés de fabrication modernes et sont employés pour augmenter le volume de production et améliorer la qualité du produit dans les chaînes de montage de l'industrie automobile, ils remplacent les ouvriers dans les tâches pénibles, répétitives ou dangereuses (peinture, soudure...).

Dans ce travail de mémoire, nous nous sommes intéressés étude statique et cinématique de robots à Troie axes. Ce mémoire est structuré en 3 chapitres : Le premier chapitre donne un bref historique sur la robotique et les différents types de robots, analyse aussi les différents constituants d'un robot manipulateur quiets l'objet de notre étude.

L'objet du premier chapitre est d'apporter quelques définitions de base et décrire les constituants technologiques d'un robot.

Le deuxième chapitre est avons abordé les principes les plus élémentaires de l'étude des robots on va étudier la liaison et la mécanique de fonctionnement des robots en plus la commande des robots nécessitent le calcul de certains modèles mathématique.

Le troisième chapitre consacrée l'étude cinématique et statique pour contrôle de la vitesse de déplacement du robot afin de connaitre la durée d'exécution d'une tache obtenu.

Enfin, ce mémoire est clôturé par une conclusion générale.

CHAPITRE I :

Généralités sur les robots industriels

I.1. Définition

Robot :

"Un robot est un mécanisme automatique capable d'exécuter certaines tâches selon un programme fixe ou modifiable [2].

Robotique :

"Science et technique de la robotisation, de la conception et de la construction de robots [3].

I.2. Histoire de la robotique

Depuis la nuit des temps, l'homme a cherché à se faire remplacer pour des tâches spécifiques pouvant être dangereuses, fastidieuses ou longues.



(a)



(b)



(c)

Fig. I.1. De gauche à droite : (a) Horloge à eau de Clépsydre, (b) Théâtre mobile de Héron D'Alexandrie, (c) Canard digérateur de Jacques de Vaucanson [4].

Le concept du robot a été établi par de nombreuses réalisations historiques créatives, tel que : l'horloge à l'eau de Clepsydra introduite par les Babyloniens (1400 avant JC), le théâtre de l'automate du Héron d'Alexandrie (une centaine d'années après JC) et les automates de l'arabe Al-Jazari (1200 après JC) [4]. Un de ces spécimens très évolué fut présenté par Jacques de Vaucanson en 1738 : il représentait un homme jouant d'un instrument de musique à vent.

Jacques de Vaucanson créa également un automate représentant un canard mangeant et refoulant sa nourriture après ingestion de cette dernière.

Cependant, l'apparition du robot physique a dû attendre l'arrivée de technologies avancées et plus adaptées au cours du XXe siècle.

- **1920** : L'origine du mot robot provient de la langue tchèque dans laquelle son ancêtre "robota" signifie travail forcé. Il a été introduit, en 1920, par l'écrivain tchèque Karel Capek dans la pièce de théâtre « Rossum's Universal Robots » [5].
- **En 1954**, George Charles Devol invente le premier robot industriel programmable. Il fonde en 1956 la première entreprise de robot, Unimation, avec l'ingénieur Joseph Engelberger. Leur robot, appelé Unimate, était capable de manipuler des objets avec des actionneurs hydrauliques. [5]



Fig. I.2. Unimate, premier robot industriel [5]

- **En 1969**, Victor Scheinman de l'Université de Stanford inventa un bras articulé sur 6 axes. Scheinman vendit son concept à Unimation plus tard [5].
- **1973** : KUKA, une entreprise allemande crée le premier robot industriel avec 6 axes contrôlés électromécaniquement : le Famulus [5].
- **1978** : Unimation propose le PUMA, un robot d'assemblage encore utilisé de nos jours dans plusieurs laboratoires de recherche [5].
- **1981** : Takeo Kanade construit le premier robot muni de moteurs installés directement aux articulations du bras. Cela a permis des robots plus rapides et plus précis qu'auparavant [5].

- **1998** : ABB, Suède, a développé le FlexPicker, le robot de préparation de commandes le plus rapide au monde basé sur le robot delta développé par Reymond Clavel, Institut fédéral de technologie de Lausanne (EPFL) [5].
- **2003** : Première mission d'exploration de la planète Mars impliquant deux robots (figure. I.3) mobiles, Spirit et Opportunity [5].



Fig. I.3. Opportunity [5]

- **2011** : Robonaut (R2B) (figure. I.4) premier robot humanoïde envoyé dans l'espace construit et conçu par la NASA au Johnson Space Center (JSC) à Houston (Texas), en collaboration avec General Motors (GM) et Oceanering [5].
- **2017**:le ventes de robots ont auygmenté a 260[5],(figure.5)



Fig. I.4. Robonaut [5]

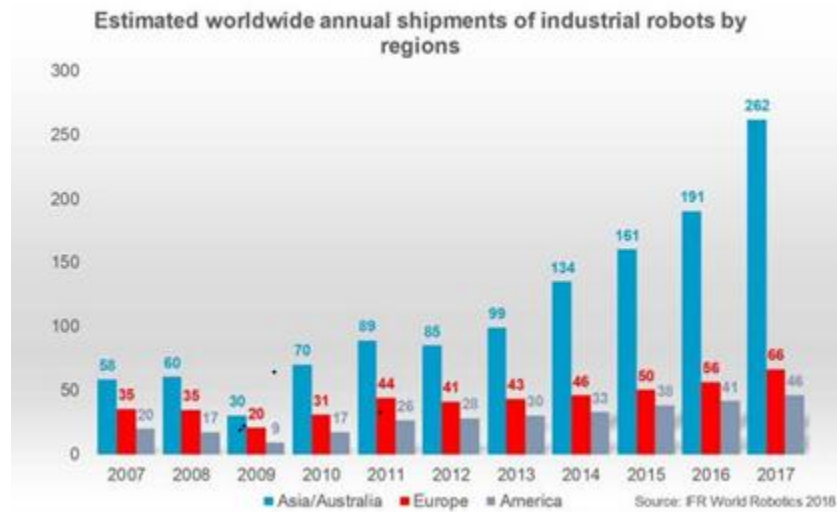


Fig. I.5 graphique représentant l'estimation des expéditions annuelles mondiales de robots industriels par régions [5].

I.3. Types de robots

Il existe deux types de robots : les robots mobiles et les robots manipulateurs



Fig. I.6: Robot mobile [6]

I.3.1. Robots Mobiles

En général, on appelle robots mobiles (figure. I.6) l'ensemble des robots à base mobile. L'usage veut cependant que l'on montre le plus souvent par ce terme les robots mobiles à roues. Les autres robots mobiles sont en effet le plus souvent désignés par leur type de locomotion, qu'ils soient marcheurs, sous-marins ou aériens.

I.3.2. Robots manipulateurs

Les robots manipulateurs (figure. I.7) sont des robots intégrés dans un espace propre destiné au transfert de produits semi-finis entre les lignes de production. Le robot est généralement suspendu pour des questions d'encombrement et par contraintes d'implantation.

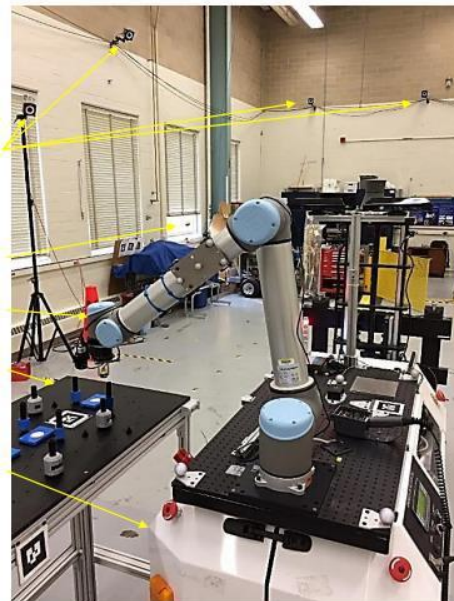


Fig. I.7. Bras Manipulateur [7]

I.4. Robot industriel

La définition diffère selon les pays, on se contentera de la version normalisée par l'organisation internationale de normalisation (ISO) :

« Une machine formée par un mécanisme incluant plusieurs degrés de libertés, ayant souvent l'apparence d'un ou de plusieurs bras se terminant par un poignet capable de tenir des outils, des pièces ou un dispositif d'inspection » [8].

I.5. Bras manipulateur

Un bras manipulateur est un bras d'un robot généralement programmable, avec des fonctions similaires à un bras humain. Il peut être autonome ou contrôlé manuellement et peut être utilisé pour effectuer une variété de tâches avec une grande précision. [9]

I.6. Constituant d'un robot:

On distingue (figure. I.8) classiquement 4 parties principales dans un robot manipulateur [10]

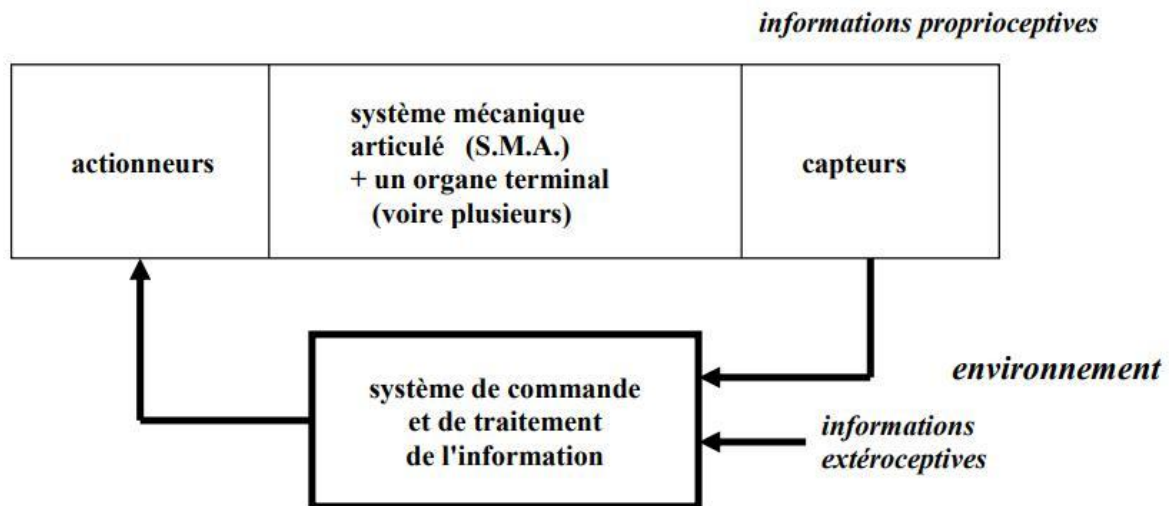


Fig. I.8. Constituant d'un robot [10]

I.6.1. Actionneurs

Les actionneurs sont l'ensemble des moteurs associés à des transmissions (courroies crantées) pour animer le S.M.A. Ils utilisent souvent des moteurs électriques à aimant permanent, à courant continu et à commande par l'induit (la tension n'est continue qu'en moyenne, car en général l'alimentation est un hacheur de tension à fréquence élevée).

Les actionneurs sont le plus souvent hydrauliques pour les robots devant manipuler de très lourdes charges (par exemple, une pelle mécanique). Ils doivent agir en translation (vérin hydraulique) ou en rotation (moteur hydraulique). Il existe également des actionneurs pneumatiques ayant un usage général pour les manipulateurs à cycles.

I.6.2. Système mécanique articulé (S.M.A.)

Il s'agit d'un mécanisme ayant une structure plus ou moins proche de celle du bras humain. Il permet de remplacer, ou de prolonger, son action. Le rôle du S.M.A. est de guider l'organe terminal dans une situation (position et orientation) donnée, selon des caractéristiques de vitesse et d'accélération données. Il est composé d'une chaîne cinématique de corps, généralement rigides, 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.

I.6.3. Articulations

Une articulation lie deux corps successifs en limitant le nombre de degré de liberté de l'un par rapport à l'autre. Une articulation complexe peut se ramener à une combinaison d'articulations prismatiques ou rotoïdes.

I.6.3.1. Articulations prismatiques

Il s'agit d'une articulation (figure. I.9) 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.



Fig. I.9. Représentation d'une articulation prismatique [10]

I.6.3.2. Articulations rotoïdes

Il s'agit d'une articulation (figure. I.10) 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.



Fig. I.10. Représentation d'une articulation rotoïde [10]

I.6.4. Organe terminal

On regroupe tous les dispositifs destinés 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 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.

I.6.5. Capteurs

Les capteurs sont les organes de perception. Ils sont dits proprioceptifs lorsqu'ils mesurent l'état interne du robot (positions et vitesses des articulations) et extéroceptifs lorsqu'ils recueillent des informations sur l'environnement (détection de présence, de contact, mesure de distance, vision artificielle).

I.6.6. Commande

La partie commande synthétise les consignes des asservissements pilotant les actionneurs, à partir de la fonction de perception et des ordres de l'utilisateur.

I.7. Classification des robots

La classification des systèmes robotiques est difficile, car il existe de nombreux critères pour leurs descriptions. Cependant nous allons les classer selon deux structures qui sont les suivantes :

- Point de vue fonctionnel
- Point de vue géométrique.

I.7.1. Point de vue fonctionnel

Le nombre de classes et les distinctions entre celles-ci varient de pays à pays (6 classes au Japon, 4 en France). L'A.F.R.I. distingue 4 classes illustrées ci-dessous [11] :

I.7.1.1. Manipulateur à commande manuelle

(Figure. I.11) représente les manipulateurs à commande manuelle.



Fig. I.11. Manipulateur à commande manuelle [12]

I.7.1.2. Manipulateur automatique à cycles pré-réglés

Le réglage (figure. I.12) se fait mécaniquement par cames, butées, la commande peut se faire par automate programmable ; on peut distinguer entre manipulateurs à cycle fixe et manipulateurs à cycle programmable

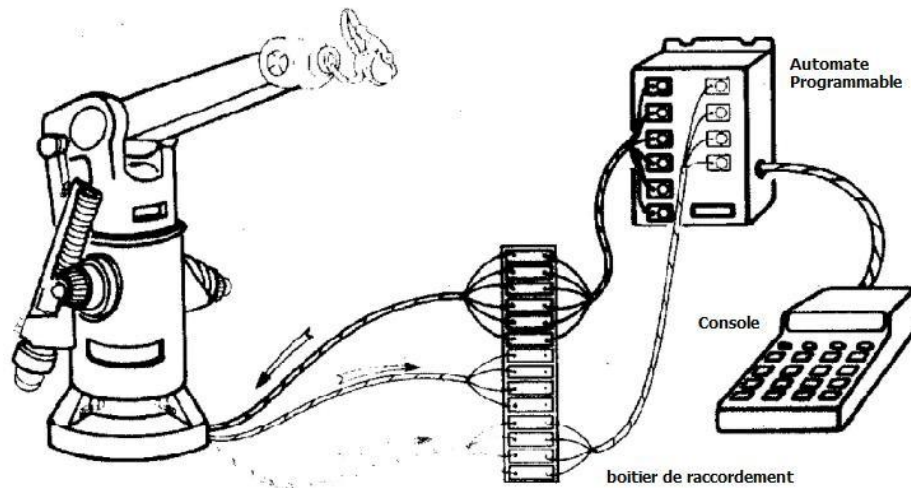


Fig. I.12. Manipulateur à cycle pré réglé [11]

I.7.1.3. Robots programmables

Ils répètent (figure. I.13) les mouvements qu'on leur a appris ou programmés, sans informations sur l'environnement ou la tâche effectuée.

On peut aussi faire la distinction entre robots « play-back » qui reproduisent la tâche apprise et robots à commande numérique qui peuvent être programmés hors-ligne.

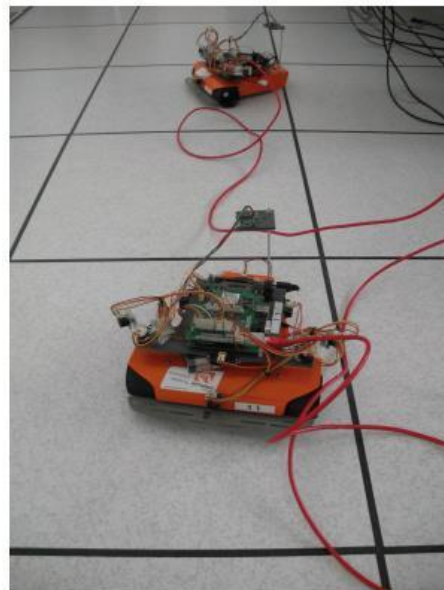


Fig. I.13. Robot programmable [13]

I.7.1.4. Robots intelligent

On trouve actuellement des robots (figure. I.14) de seconde génération qui sont capables d'acquérir et d'utiliser certaines informations sur leur environnement (systèmes de vision, détecteurs de proximité, capteurs d'efforts, ...). On étudie des robots de troisième génération, capables de comprendre un langage oral proche du langage naturel et de se débrouiller de façon autonome dans un environnement complexe, grâce à l'utilisation de l'intelligence artificielle.



Fig.1.14. Robot intelligent [14]

I.7.2. Classification géométrique

Il existe différentes architectures du porteur : la structure cartésienne (PPP), la structure cylindrique (RPP ou PRP), la structure sphérique ou polaire (RRP), la structure dite SCARA (RRP) et enfin la structure anthropomorphe (RRR).

I.7.2.1. Structure cartésienne (PPP)

Les caractéristiques d'une structure (figure. I.15) cartésienne (PPP) sont : trois axes deux à deux en série avec trois degrés de liberté, une très bonne précision et une grande lenteur.

Le volume de travail est un parallélépipède dont les dimensions sont les translations permises par les trois liaisons prismatiques. [15]

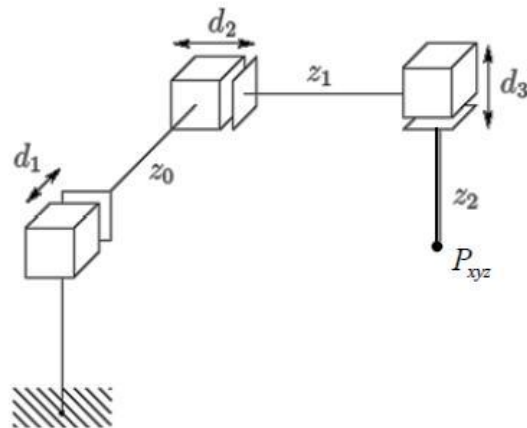


Fig. I.15. Structure PPP [16]

I.7.2.2. Structure cylindrique (RPP) ou (PRP) :

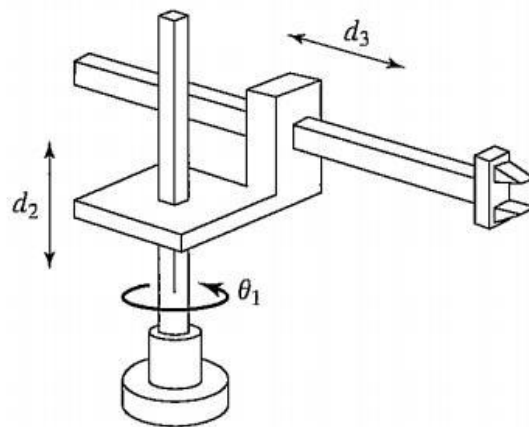


Fig. I.16. Structure RPP [17]

Les caractéristiques d'une structure (figure. I.16) cylindrique (RPP ou PRP) sont : trois axes non perpendiculaires en série avec trois degrés de liberté et une grande rapidité. Le volume de travail est un cylindre plein ou creux, autrement dit un tore à section rectangulaire, dont la hauteur L est la translation permise par une liaison prismatique. [16]

I.7.2.3. Structure sphérique ou polaire à axe de rotation orthogonale (RRP)

Le volume de travail est une sphère (figure. I.17) creuse, dont les rayons intérieur et extérieur sont fixés soit par la disposition de la liaison prismatique et la translation qu'elle permet, soit par les longueurs des deux parties du bras [19].

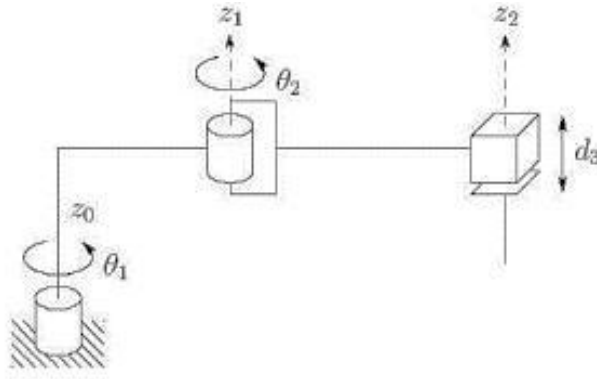


Fig. I.17. Structure RRP [18]

I.7.2.4. Structure dite SCARA

Les caractéristiques d'une structure (figure. I.18) (Selective Compliance Articulated Robot for Assemblage) sont : 3 axes en série cylindrique (RRP) ayant trois degrés de liberté. Les particularités de cette structure sont qu'elles sont précises et très rapides [19].

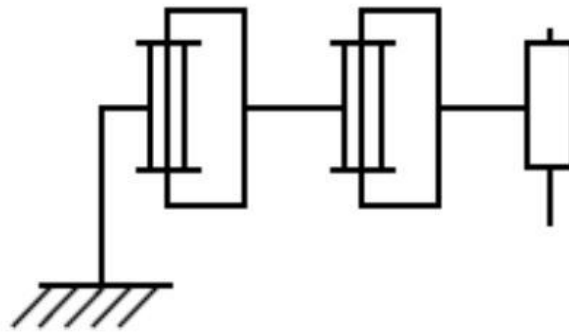


Fig. I.18. Structure SCARA [19]

I.7.2.5. Structure anthropomorphe (RRR)

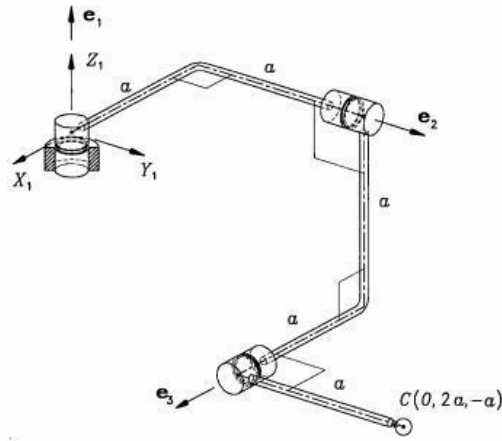


Fig. I.19. Structure RRR [20]

Cette structure (figure. I.19) à une architecture plus généraliste reproduisant le bras humain. Son enveloppe de travail à une cinématique et dynamique complexe, mais sa configuration est plus flexible.

I.8. Domaines d'application de la robotique

I.8.1. Industriel

Les robots sont très souvent utilisés dans le domaine de l'industrie comme, par exemple, dans le montage, la soudure ou la peinture.

I.8.2. Médical

De nos jours, les médecins et plus précisément les chirurgiens sont assistés par les robots intelligents capables de pratiquer des incisions de plus en plus précises. On retrouve ces robots en chirurgie, télé-chirurgie et en macro-chirurgie.

I.8.3. Spatial

L'espace étant très vaste, il est très difficile de l'explorer à l'échelle humaine. C'est pourquoi les robots sont très.

CHAPITRE 2 :

Théorie des mécanismes

II.1. Mécanique des robots manipulateurs

II.1.1. Positionnement d'un Solide dans l'espace

La position d'un solide dans l'espace requiert 6 paramètres indépendants (figure. II.1)

✚ 3 paramètres indépendants définissent la position d'un point, noté P , du solide (coordonnées cartésiennes, cylindriques, sphériques, ..., dans la base du repère fixe)

✚ 3 paramètres indépendants déterminent l'orientation du solide autour du point P (angles d'Euler, paramètres d'Euler,).

Remarque :

En robotique on représente chaque mouvement indépendant par un degré de liberté, et ça ne se dit que par abus de langage

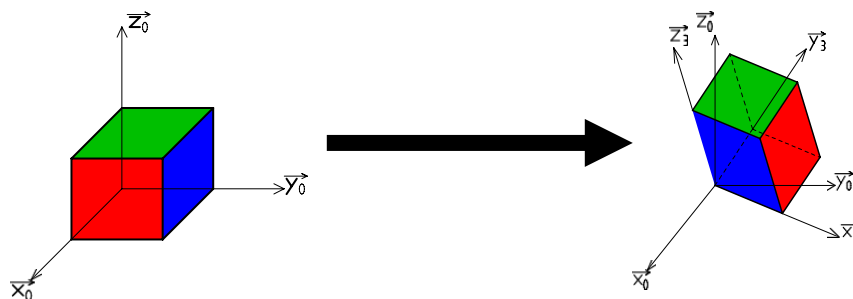


Fig. II.1. Orientation d'un solide dans l'espace

II.1.2. Mécanismes

On appelle mécanisme un ensemble de solides reliés 2 à 2 par des liaisons et que ces liaisons sont mis en évidence afin de transformer ou de transmettre un mouvement. On distingue 2 types de mécanismes:

✚ Les mécanismes en chaîne simple ouverte:(ou en série). Lorsque l'on parcourt le mécanisme, on ne repasse jamais 2 fois sur la même liaison, ou sur le même solide. Ce type de système est le plus répandu.

✚ Les mécanismes en chaîne complexe: tout ce qui n'est pas en série (au moins un solide avec plus de 2 liaisons). De tels systèmes se subdivisent en 2 groupes : les chaînes structurées en arbre, et les chaînes fermées (dont l'avantage est d'être *a priori* plus rigide, plus précis, capable de manipuler de lourdes charges).

Pour représenter un mécanisme, on dispose de 2 méthodes :

- ✚ le schéma cinématique normalisée: on utilise la représentation des liaisons pour représenter le mécanisme, soit en perspective, soit en projection.
- ✚ le graphe, non normalise : a titre d'exemples, considérons quelques mécanismes (figure II.2).

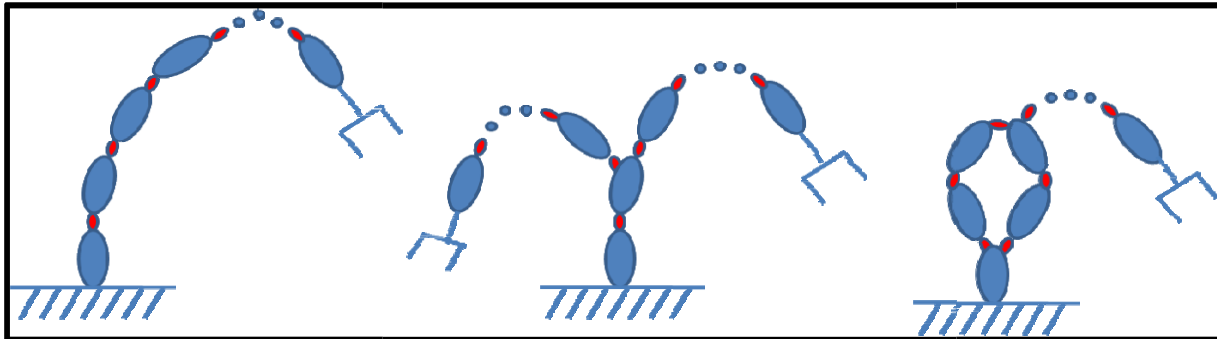


Fig. II.2 : Graphe non normalisé de quelques mécanismes

II.1.3. Architecture et morphologie des robots manipulateurs

Un robot comporte 2 parties essentielles [22] :

Le porteur : est une Structure mécanique articulée constituée des 3 premiers degrés de liberté à partir du bâti. Si P est un point de l'extrémité et un repère lié au bâti, le rôle du porteur est de fixer la position.

Le poignet : est destiné à l'orientation de la pince ou de l'outil porté par le robot

Afin de dénombrer les différentes architectures possibles, on ne considère que 2 paramètres :

- ✚ Le type d'articulation [rotoïde (R) ou prismatique(P)].
- ✚ L'angle que font deux axes articulaires successifs (0° ou 90° ; sauf cas très particulier, les axes consécutifs d'un robot sont soit parallèles, soit perpendiculaires) exemple robot SCARA.

Dans la pratique, le *poignet* de type rotule est très répandu. Le robot, obtenu en lui associant un porteur à 3 *d.d.l.*, est la structure la plus classique à 6 *d.d.l.* Elle permet d'assurer un découplage entre la position et l'orientation de l'organe terminal

- Le porteur a pour rôle de fixer la position du point d'intersection, noté P , des axes des 3 dernières articulations (centre du poignet) ; cette position (P) ne dépend que de la configuration des solides (corps) 1, 2 et 3 du porteur)
- Le poignet est destiné à l'orientation de l'organe terminal (pince, outil) (figure : II.3)

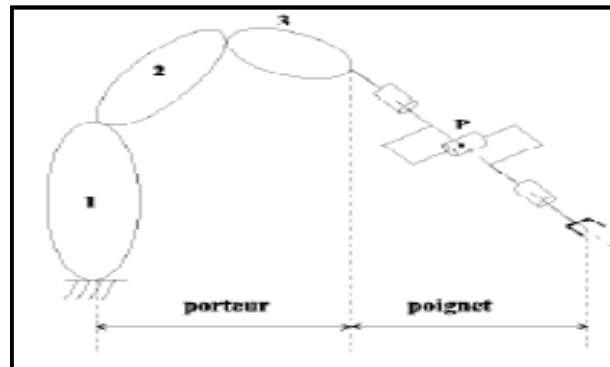


Fig. II.3: Structure de robot à poignet de type rotule correspond à celle des robots Stäubli

II.2. Description des bras manipulateurs

II.2.1. Morphologie Et Chaîne Cinématique d'un Bras Manipulateur

On suppose les bras manipulateurs constitués de n corps mobiles, supposés parfaitement rigides, reliés entre eux par n liaisons rotoïdes et/ou prismatiques formant une structure de chaîne simple (voir figure. II.4).

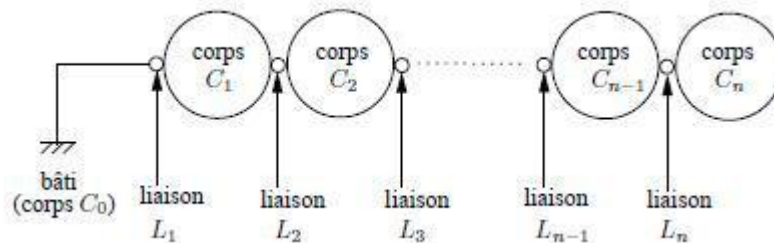


Fig. II.4: Chaîne cinématique d'un bras manipulateur série

Pour identifier la nature de la i -ème liaison du bras manipulateur, on définit le paramètre :

$\sigma_j=0$, pour une liaison rotoïdes

$\sigma_j=1$, pour une liaison prismatique

On désigne fréquemment les bras manipulateurs en accolant les lettres *R* (pour rotoïdes) et *P* (pour prismatique) pour décrire la succession des liaisons. Par exemple un bras manipulateur de type anthropomorphe sera désigné par le sigle 6R alors qu'un bras manipulateur de type SCARA sera de type *RRP* ou *RRPR* (il existe plusieurs variantes) [1].

II.2.2. Configuration articulée (RRR)

Le manipulateur articulé appelé aussi le manipulateur rotoïde, ou anthropomorphe est un design des plus utilisés, la structure terminologie associée à ce type de manipulateur est montrée par la (figure. II.5) [20] :

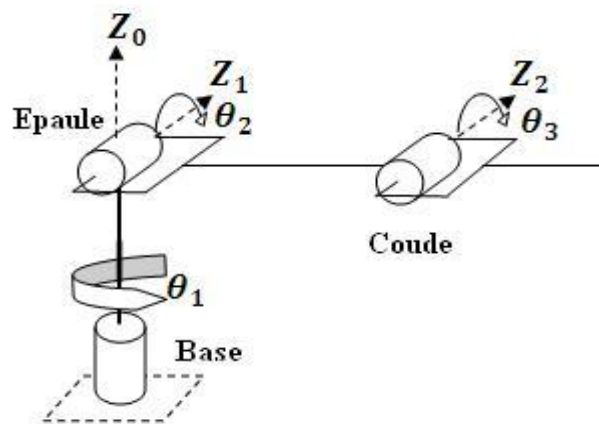


Fig. II.5: Configuration(RRR)

II.2.3. Configuration sphérique (RRP)

En remplaçant la troisième articulation (le coude) dans la configuration rotoïde par une prismatique on obtient la configuration sphérique montrée dans la (figure. II.6).

Le terme configuration sphérique dérive du fait que les coordonnées sphériques définissant la position de l'organe terminal, en respectant que l'origine de la base coïncide

Avec l'intersection des deux axes et, sont les mêmes que ceux des trois premières articulations [20].

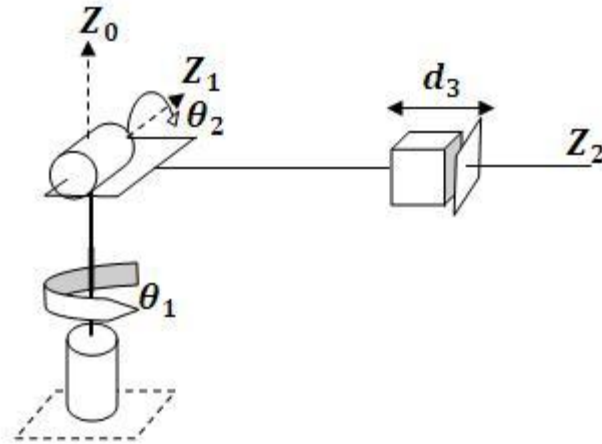


Fig. II.6: Configuration (RRP)

II.2.4. Configuration SCARA (RRP)

SCARA (pour Selective Compliant Articulated Robot for Assembly) montré dans la (figure :II.7) est une configuration très connue. Comme son nom sous-entend il est spécialement conçu pour les opérations d'assemblage. Quoique le robot SCARA a une structure RRP, il est tout à fait différent de la configuration sphérique ni dans l'apparence ni dans le domaine d'application. A la différence du design sphérique qui a z_0, z_1, z_2 mutuellement perpendiculaires, le robot SCARA a z_0, z_1, z_2 parallèles [20].

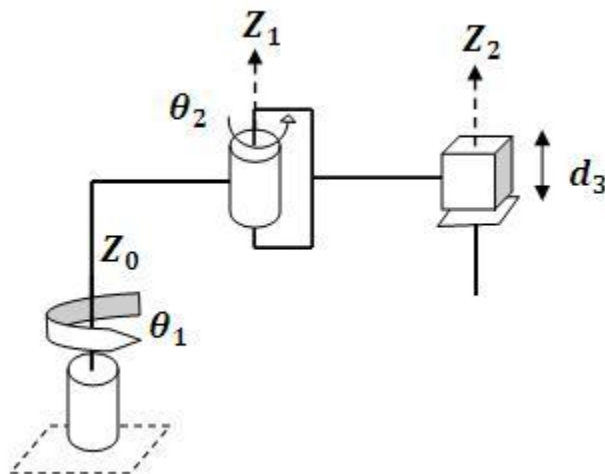


Fig. II.7: Configuration SCARA (RRP)

II.2.5. Configuration cylindrique (RPP)

La configuration cylindrique est montrée dans la (figure : II.8). La première articulation est rotoïde et produit une rotation autour de la base, alors que la seconde et la troisième sont prismatiques. Comme le nom le suggère, les variables articulaires sont les coordonnées cylindriques de l'organe terminal en prenant compte de la base [20].

II.2.6. Configuration cartésienne (PPP)

Un manipulateur dont les trois premières articulations sont prismatiques est connu sous le nom de manipulateur cartésien. Il est montré dans la (figure : II.9).

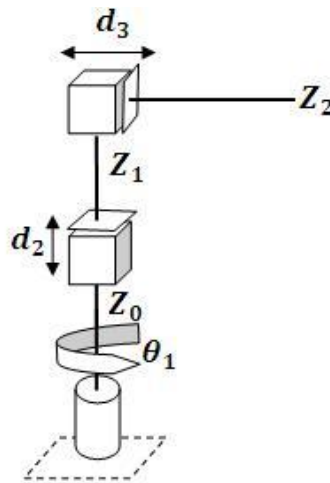


Fig. II.8: Configuration cylindrique (RPP)

Pour le manipulateur cartésien les variables articulaires sont les cartésiennes de l'organe terminal en respectant la base. Comme on peut le deviner la description cinématique de ce manipulateur est la plus simple de toutes les configurations [20].

II.3. Structure mécanique

La structure mécanique du robot manipulateur peut être divisée en deux parties distinctes comme le montre la (figure : II.10) :

- **Organe terminal** : les tâches qui sont dévolues aux robots sont très variées. Pour chaque opération ou travail spécifique, l'organe terminal prend un aspect particulier.

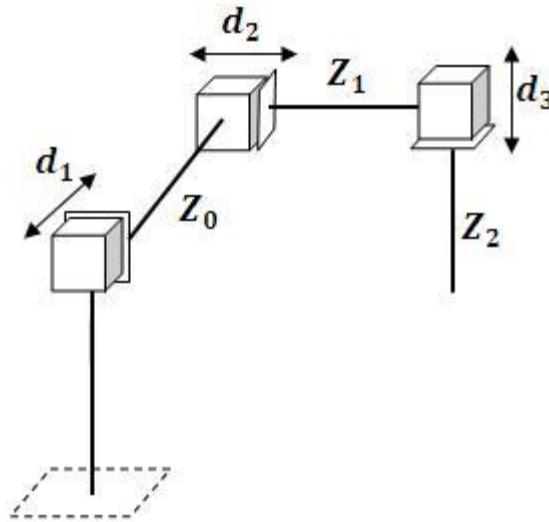


Fig. II.9 : Configuration cartésienne (PPP)

- **Élément porteur** : il est composé d'un ensemble de corps souples ou rigides liés par des articulations, servant à déplacer l'organe terminal d'une configuration à une autre.

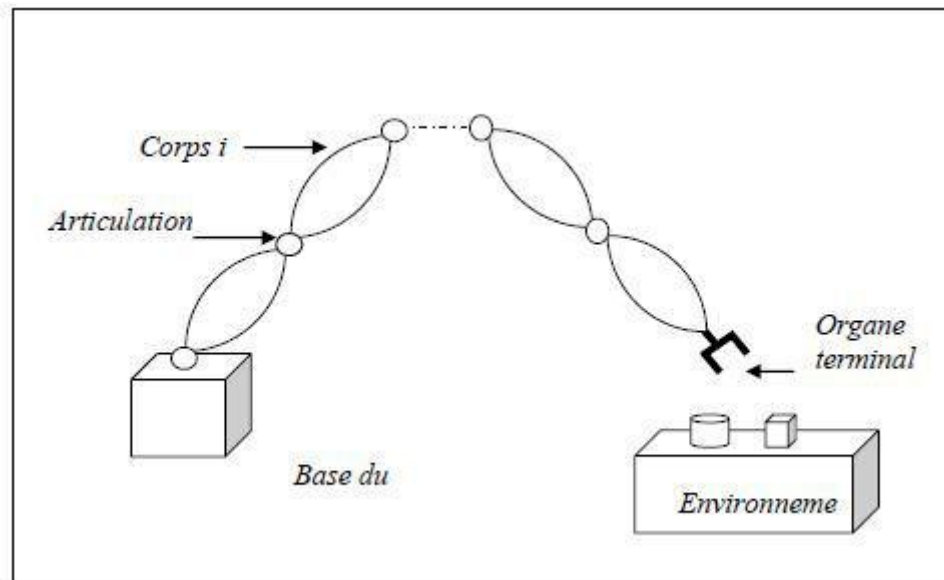
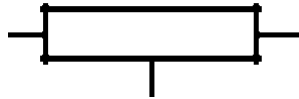


Fig. II.10: Robot à chaîne ouverte simple

II.4. Tableaux des liaisons

II.4.1.Représentation des Liaisons Planes

On utilise les mêmes symboles qu'en 3D. Chaque liaison ne se voit que par une seule vue.



II.4.2.Représentation des Liaison Spatial

Désignation de la liaison	Schématisation spatiale	Mobilités	Torseur d'action mécanique transmissible	Torseur d'action mécanique Simplifié	Schématisation plane
Pivot d'axe (A, \vec{x})		$\overline{Tr} \begin{vmatrix} 0 & & \\ & 0 & \\ & & 0 \end{vmatrix} \quad \overline{Rot} \begin{vmatrix} Rx & & \\ & 0 & \\ & & 0 \end{vmatrix}$	$\begin{Bmatrix} X_{12} & 0 \\ Y_{12} & M_{12} \\ Z_{12} & N_{12} \end{Bmatrix}_A$	Symétrie par rapport à (A, \vec{y}, \vec{z}) $\begin{Bmatrix} 0 & 0 \\ Y_{12} & 0 \\ Z_{12} & 0 \end{Bmatrix}_A$	
Glissière d'axe (A, \vec{x})		$\overline{Tr} \begin{vmatrix} Tx & & \\ & 0 & \\ & & 0 \end{vmatrix} \quad \overline{Rot} \begin{vmatrix} 0 & & \\ & 0 & \\ & & 0 \end{vmatrix}$	$\begin{Bmatrix} 0 & L_{12} \\ Y_{12} & M_{12} \\ Z_{12} & N_{12} \end{Bmatrix}_A$	Symétrie par rapport à (A, \vec{x}, \vec{z}) $\begin{Bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & M_{12} \\ Z_{12} & 0 \end{Bmatrix}_A$	
Pivot glissant d'axe (A, \vec{x})		$\overline{Tr} \begin{vmatrix} Tx & & \\ & 0 & \\ & & 0 \end{vmatrix} \quad \overline{Rot} \begin{vmatrix} Rx & & \\ & 0 & \\ & & 0 \end{vmatrix}$	$\begin{Bmatrix} 0 & 0 \\ Y_{12} & M_{12} \\ Z_{12} & N_{12} \end{Bmatrix}_A$	Symétrie par rapport à (A, \vec{y}, \vec{z}) $\begin{Bmatrix} 0 & 0 \\ Y_{12} & 0 \\ Z_{12} & 0 \end{Bmatrix}_A$	
Appui plan de normale (A, \vec{x})		$\overline{Tr} \begin{vmatrix} 0 & & \\ Ty & & \\ Tz & & \end{vmatrix} \quad \overline{Rot} \begin{vmatrix} Rx & & \\ & 0 & \\ & & 0 \end{vmatrix}$	$\begin{Bmatrix} X_{12} & 0 \\ 0 & M_{12} \\ 0 & N_{12} \end{Bmatrix}_A$	Symétrie par rapport à (A, \vec{x}, \vec{y}) $\begin{Bmatrix} X_{12} & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & N_{12} \end{Bmatrix}_A$	
Rotule de centre A		$\overline{Tr} \begin{vmatrix} 0 & & \\ & 0 & \\ & & 0 \end{vmatrix} \quad \overline{Rot} \begin{vmatrix} Rx & & \\ Ry & & \\ Rz & & \end{vmatrix}$	$\begin{Bmatrix} X_{12} & 0 \\ Y_{12} & 0 \\ Z_{12} & 0 \end{Bmatrix}_A$	Symétrie par rapport à (A, \vec{x}, \vec{y}) $\begin{Bmatrix} X_{12} & 0 \\ Y_{12} & 0 \\ 0 & 0 \end{Bmatrix}_A$	
Linéaire annulaire d'axe (A, \vec{x})		$\overline{Tr} \begin{vmatrix} Tx & & \\ & 0 & \\ & & 0 \end{vmatrix} \quad \overline{Rot} \begin{vmatrix} Rx & & \\ Ry & & \\ Rz & & \end{vmatrix}$	$\begin{Bmatrix} 0 & 0 \\ Y_{12} & 0 \\ Z_{12} & 0 \end{Bmatrix}_A$	Symétrie par rapport à (A, \vec{x}, \vec{z}) $\begin{Bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ Z_{12} & 0 \end{Bmatrix}_A$	
Linéaire rectiligne de normale (A, \vec{x}) et de contact (A, \vec{y})		$\overline{Tr} \begin{vmatrix} 0 & & \\ Ty & & \\ Tz & & \end{vmatrix} \quad \overline{Rot} \begin{vmatrix} Rx & & \\ Ry & & \\ & & 0 \end{vmatrix}$	$\begin{Bmatrix} X_{12} & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & N_{12} \end{Bmatrix}_A$	Symétrie par rapport à (A, \vec{x}, \vec{z}) $\begin{Bmatrix} X_{12} & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{Bmatrix}_A$	

Fig. II.11 : Tableaux des liaisons

II.5. Espace articulaire, espace opérationnel et modèle de transformation entre les espaces

Définition1 : on appelle espace de configuration articulaire d'un robot manipulateur (ou simplement configuration) l'état du robot représentant la situation de ses différents corps. Les variables ou coordonnées articulaires sont aussi appelées coordonnées généralisées. L'espace de ces variables noté NB, est appelé espace articulaire ou espace des configurations.

Définition2 : l'espace opérationnel est celui dans lequel est représentée la situation de l'organe terminal. Les variables ou coordonnées au nombre minimum permettant de définir la situation de l'organe terminale sont appelées les coordonnées opérationnelles. L'espace opérationnel de dimension m est noté MB.

II.6. Degré de Liberté et de Mobilité

□ **Degré de liberté**: nombre de paramètres utilisés pour spécifier la configuration d'un élément de la chaîne cinématique par rapport à un autre.

□ **Degré de mobilité**: toute articulation est caractérisée par son degré de mobilité m, c'est-à-dire le nombre de degrés de liberté entre deux corps successifs de la chaîne cinématique ($0 \leq m \leq 6$).

II.7. Etude des chaînes de solides indéformable

Graphe des liaisons : Dans le graphe de liaisons d'un mécanisme, les solides sont représentés par des cercles dans lesquels on indique le repère du solide et les liaisons sont représentées par des arcs joignant ces cercles.

Exemple : graphe de liaisons associé au mécanisme de la (figure. II.11)

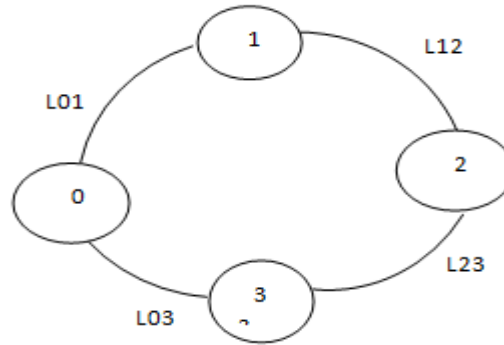


Fig. II.11: Graphe de liaisons

- L_{01} : liaison rotule
- L_{12} : liaison rotule
- L_{23} : liaison glissière d'axe x
- L_{03} : liaison pivot d'axe Z

II.7.1. Liaison équivalente

La liaison équivalente à un ensemble de liaisons situées entre deux solides (S1) et (S2) est une liaison théorique qui a le même comportement que cette association de liaisons, c'est à dire qui transmet la même action mécanique et qui autorise le même mouvement relatif de ces deux solides.

II.7.2. Torseur de la liaison équivalente à un ensemble de liaisons en parallèle

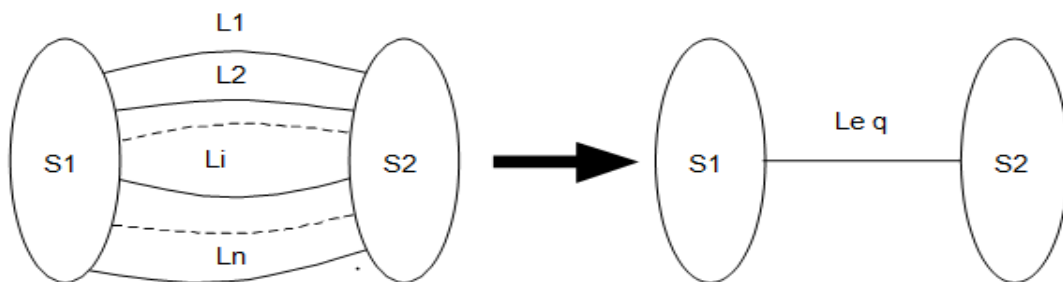


Fig. II.12 : Chaîne continue ouvert

Torseur statique

Notons, pour simplifier, $\{F_{eq}\}$ le torseur statique de la liaison équivalente (torseur des efforts transmissibles de S1 à S2 par la liaison équivalente) et $\{F_i\}$ le torseur des efforts de S1 sur S2 transmissibles par la liaison L_i . Alors :

$$\{F_{eq}\} = \sum_{i=1}^n \{F_i\} \quad (\text{II.1})$$

Torseur cinématique

Notons pour simplifier, $\{V_{eq}\}$ le torseur cinématique de la liaison équivalente et $\{V_i\}$ le torseur cinématique de la liaison L_i alors :

$$\{V_{eq}\} = \{V_1\} = \{V_2\} = \dots = \{V_i\} = \dots = \{V_n\} \quad (\text{II.2})$$

Hyperstaticité, mobilité

On montre que :

$$h = N_s - r_s \quad (\text{II.3})$$

$$m = 6 - r_s \quad (\text{II.4})$$

II.7.3. Torseurs de la liaison équivalente à un ensemble de liaisons en série

N liaisons sont dites en série si elles sont disposées l'une à la suite de l'autre par l'intermédiaire de N+1 solides. On dit également que les N+1 solides assemblés par les N liaisons en série constituent une chaîne continue ouverte

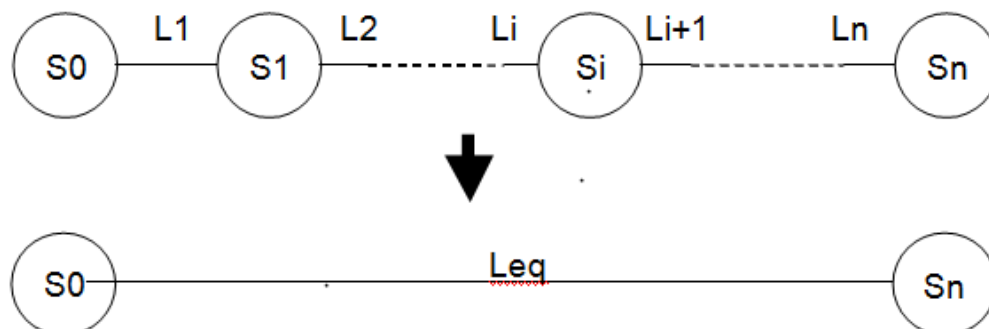


Fig. II.13 : Chaîne continue ouverte

Torseur statique

$$\{F_{eq}\} = \{F1\} = \{F2\} = \dots = \{Fi\} = \dots \{Fn\} \quad (\text{II.5})$$

Torseur cinématique

$$\{V_{eq}\} = \sum_{i=1}^n \{Vi\} \quad (\text{II.6})$$

II.7.4. Chaîne continue fermée

Une chaîne continue ouverte dont les deux solides extrêmes ont une liaison entre eux constitue une chaîne continue fermée.

Notons p le nombre de liaisons constituant une chaîne continue fermée

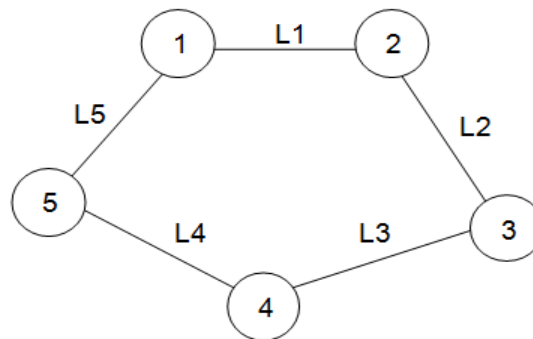


Fig. II.14: Chaîne continue fermée

Approche statique

Soit :

N_s le nombre d'inconnues statique des p liaisons

$$n_c = \sum_{i=1}^p n_{ci} \quad (\text{II.7})$$

R_s Le nombre d'équations scalaires indépendantes entre les n_s inconnues statique on définit le degré d'hyperstaticité h de la chaîne continue fermée par :

$$h = N_s - r_s \quad (\text{II.8})$$

Approche cinématique

Soit :

De la N_C le nombre d'inconnues cinématiques des p liaisons

$$N_c = \sum_{i=1}^p n_{ci} \quad (\text{II.9})$$

R_c le nombre d'équations scalaires indépendantes entre les N_C inconnues on définit le degré mobilité chaîne fermée par :

$$m = N_c + r_c \quad (\text{II.10})$$

Synthèse

Pour chaque liaison i , $n_{s_i} + n_{c_i} = 6$ car le nombre d'inconnues du torseur statique au centre d'une liaison est complément à 6 du nombre d'inconnues de torseur cinématique pour p liaisons

$\sum_{i=1}^p n_{c_i} + \sum_{i=1}^p n_{s_i} = \sum_{i=1}^p (n_{c_i} + n_{s_i}) = 6 * p \Rightarrow n_c + n_s = 6p$ (II.11) On montre d'autre part que le degré de mobilité est:

$$m = 6(p - 1) - r_s \quad (\text{II.12})$$

En éliminant r_s entre les relations (II.8) et (II.12) on obtient:

$$h = N_s + m - 6(p - 1) \quad (\text{II.13})$$

En éliminant N_s entre les relations (II.11) et (II.13) on obtient:

$$h = m + 6 - N_c \quad (\text{II.14})$$

II.7.5. Chaîne complexe

Définition

Une chaîne complexe est une chaîne cinématique constituée de plusieurs chaînes continues fermées imbriquées.

II.7.6. Nombre cyclomatique d'une chaîne complexe

On appelle nombre cyclomatique d'une chaîne complexe le nombre de chaînes continues fermées indépendantes appartenant à cette chaîne complexe. On note ce nombre γ . Soit p le nombre de solides et L le

Nombre de liaisons de la chaîne complexe on montre que :

$$\gamma = L - p + 1 \quad (\text{II.15})$$

Approche statique

On définit le degré d'hyperstaticité de la chaîne complexe par :

$$h = Nc - rs \quad (\text{II.16})$$

Approche cinématique

Le degré de mobilité de la chaîne complexe est :

$$m = Nc - rc \quad (\text{II.17})$$

Synthèse

$$\sum_{i=1}^l nsi + \sum_{i=1}^l nsi = \sum_{i=1}^l (nci + nsi) = 6.l \quad (\text{II.18})$$

On montre d'autre part que le degré de mobilité de la chaîne complexe est :

$$m = 6(p - 1) - rs \quad (\text{II.19})$$

En éliminant rs entre (II.16) et (II.19), on obtient :

$$h = Ns + m - 6(p - 1) \quad (\text{II.20})$$

En éliminant rs entre (II.18) et (II.20), on obtient :

$$h = 6L - Nc + m - 6(p - 1) = m + 6(L - p + 1) - Nc \quad (\text{II.21})$$

II.8. Description des matrices de transformation :

La représentation d'une matrice de dimension 4×4 , noté i_{Tj} appelée matrice de transformation homogène est basée sur les coordonnées homogènes soit :

- Représentation d'un point : une transformation homogène, la représentation d'un point se fait par une matrice colonne [25] :

$$P = (P_x P_y P_z)^T \quad (\text{II.22})$$

- Représentation d'une direction : Cette représentation se fait par quatre composantes, quoique la quatrième soit nulle :

$$u = (U_x U_y U_z 1)^T \quad (\text{II.23})$$

Pour une matrice de transformation complète d'un repère R_j ayant subi des rotations et des translations par rapport un repère R_i , il est possible d'utiliser une écriture générale. Cette

$$i_{Tj} = [i_{sj}, i_{nj}, i_{aj}, i_{pj}] = \begin{bmatrix} S_x & n_x & a_x & P_x \\ S_y & n_y & a_y & P_y \\ S_z & n_z & a_z & P_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (\text{II.24})$$

écriture prend en compte les différents vecteurs (s, n, a) de la matrice de passage.

La matrice de transformation complète i_{Tj} résulte par un vecteur (3x1) de translation i_{pj} et une matrice (3x3) de rotation soit :

$$i_{Tj} = [i_{sj}, i_{nj}, i_{aj}, i_{pj}] = \begin{bmatrix} i_{Aj} & & & i_{pj} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (\text{II.25})$$

Où i_{sj} , i_{nj} et i_{aj} de la matrice i_{Aj} désignent respectivement les vecteurs unitaire suivant les axes X_j, Y_j et Z_j de repère R_j exprimés dans le repère R_i et i_{pj} est l'origine de repère R_j exprimées dans le repère R_i .

Les éléments de la matrice i_{Aj} sont appelés cosinus directeurs, car ils représentent les coordonnées des trois vecteurs de la base R_j exprimés dans R_i . Par définition, les colonnes de R sont orthogonales entre elles et par conséquent la connaissance de deux colonnes suffit.

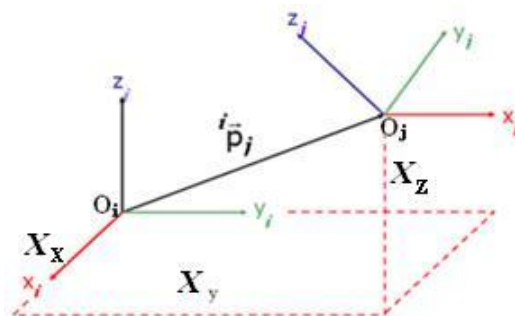


Fig. II.15 : Transformation d'un repère.

❖ Matrice de transformation à rotation pure autour des axes principaux :

Soient $\text{Rot}(x, \theta)$, $\text{Rot}(y, \theta)$ et $\text{Rot}(z, \theta)$ qui sont des rotations (les figures ci-dessous), les composants des vecteurs unitaires ${}^i s_j$, ${}^i n_j$ et ${}^i a_j$ portés respectivement par les axes x_j, y_j et z_j et du repère R_j exprimés dans le repère R_i .

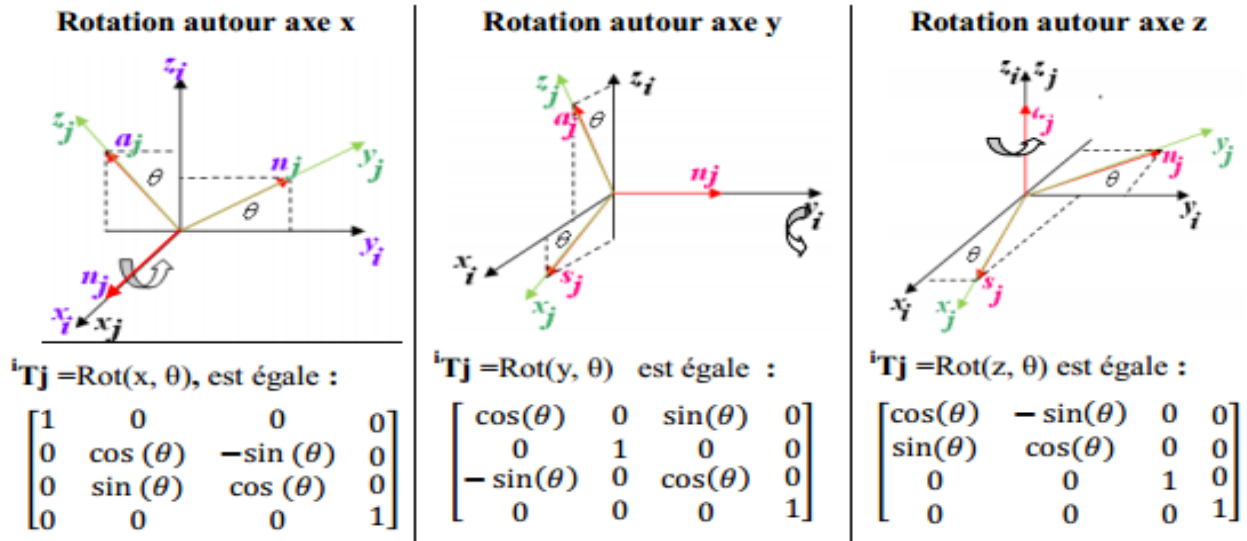


Fig. II.16: Matrice de transformation rotation pure

❖ *Matrice de transformation à translation pure :*

Soit $T_r(a, b, c)$ une transformation $a, b,$ et c qui désigne respectivement une translation le long des axes $x, y,$ et z .

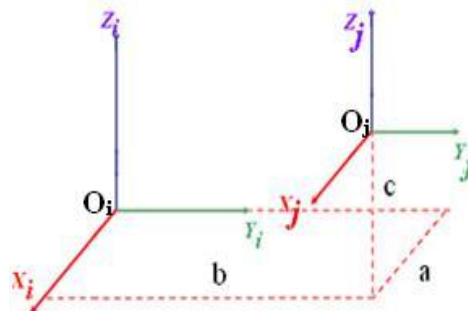


Fig. II.17 : Transformation d'un repère à translation pure [25].

$${}^i T_j = T_r(a, b, c) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & a \\ 0 & 1 & 0 & b \\ 0 & 0 & 1 & c \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \tag{II.26}$$

II.8.1. Description d'un solide dans l'espace:

Un *solide* S est dit *indéformable* si pour toute paire de points de ce solide de coordonnées m et n ,

$$\|m(t) - n(t)\| = \|m(0) - n(0)\| \quad \text{est constante au cours du temps.}$$

La situation d'un solide S est donnée par trois coordonnées de position plus trois de l'orientation d'un repère R lié à ce solide par rapport à autre repère référence.

a- Les coordonnées de rotation

Il existe plusieurs représentations soit, les angles d'Euler, les angles de Roulis-Tangage-Lacet, soit les paramètres d'Euler ou soit les cosinus directeurs «angle autour d'un axe unitaire». Quelle que soit la représentation utilisée, ces quatre paramètres permettent de définir une matrice de rotation unique.

b- Les coordonnées de Position

Ces coordonnées peuvent être définies par les coordonnées cartésiennes, sphériques ou cylindriques. Le choix des coordonnées est fonction des caractéristiques du manipulateur et de celles de la tâche réalisée.

II.8.2. Description d'une structure géométrique du robot :

On suppose que le robot soit constitué d'une chaîne de $n + 1$ corps solide ($Cr_0 Cr_1 \dots Cr_n$) Le corps Cr_0 désigne la base du robot et Cr_n désigne le corps qui porte l'organe terminal. Ces corps sont liés entre eux par des articulations rotoïdes ou prismatiques. A chaque corps j , on associe un

Repère orthonormé R_j . Les repères sont numérotés de 0 à n . La $j^{\text{ème}}$ articulation, dont la position est notée q_j , au point qui relie les corps (Cr_{j-1}) avec le corps Cr_j

Les angles de rotation ou les longueurs de translation des différentes articulations sont appelés coordonnées articulaires de dimension n , leurs paramètres constituent le vecteur de configuration

Articulaires :

$$p = (q_1 \dots \dots \dots q_n)^T \quad (\text{II.27})$$

La situation p de lot (l'organe terminal) du bas manipulateur est alors définie par m coordonnées

Indépendantes dites coordonnées opérationnelles de dimension $m \leq 6$, appelées espace opérationnel. On note [25].

$$p = (X_1 X_2 \dots \dots \dots X_n) \quad (\text{II.28})$$

La méthode la plus répandue pour la description des paramètres géométriques d'un robot à chaîne ouverte est celle de la formalisation de Denavit-Hartenberg (DH) modifiée par Khalil-Kleinfinger cette formalisation basée sur les paramètres suivants [25] :

- La variable d'articulation j est notée q_j .
- Le corps j est noté Cr_j .
- Les paramètres qui permettent de définir R_j par rapport au repère antécédent soient indices (j).
- Le repère R_j est lié au corps Cr_j , est défini de telle sorte que :
- L'axe Z_j du repère R_j est porté par l'axe de l'articulation j .
- L'axe X_j du repère R_j est porté par la perpendiculaire commune aux axes R_j et R_{j+1}
- Le passage R_{j-1} à R_j est exprimé en fonction des quatre paramètres suivants :

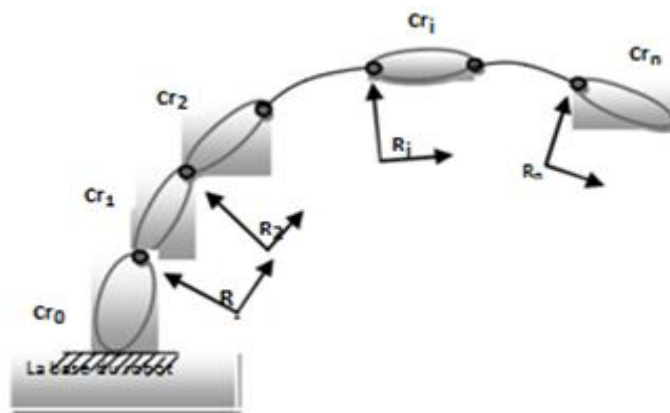


Fig. II.18: Robot à structure ouvert et simple [25].

II.9. Paramètre de denavit-hartenberg

Les paramètres de Denavit-Hartenberg sont quasi universellement adoptés par les roboticiens pour définir, avec un nombre minimum de paramètres, les matrices de transformations homogènes élémentaires qui permettent de passer du repère associé à un corps du robot au corps qui le suit dans la chaîne cinématique, les corps sont supposés parfaitement rigides et les articulations sont considérées comme idéales.

Le repère de référence R_j est assigné pour chaque corps C_j du robot à l'articulation j dont elle rencontre le corps précédent C_{j-1} ce repère est défini comme suit :

- 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. L'axe Y_j , non représenté sur la figure est choisi de manière à former un trièdre orthonormé direct avec X_j et Z_j .

Les transformations élémentaires qui permettent le passage du repère R_{j-1} au repère

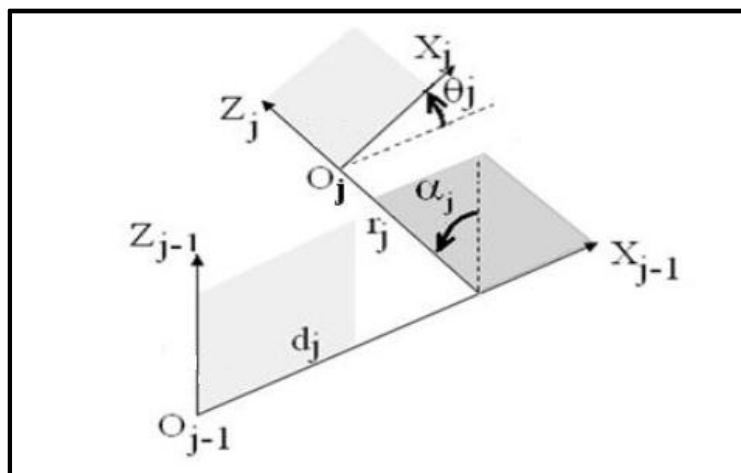


Fig. II.19: Représentation de paramètre de d-h[25].

Voilà les paramètres de D-H :

- α_j : l'angle de rotation entre les axes Z_{j-1} et Z_j correspondant à une rotation autour de l'axe X_{j-1}

- d_j : la distance entre Z_{j-1} et Z_j mesurée le long de l'axe X_{j-1} .
- θ_j : l'angle de rotation entre les axes X_{j-1} et X_j correspondant à une rotation autour de l'axe Z_j .
- r_j : la distance entre X_{j-1} et X_j mesurée le long de l'axe Z_j .

Il est à noter que les angles sont positifs quand la rotation est dans le sens inverse des aiguilles d'une montre.

La variable articulaire q_j associée à la $j^{\text{ième}}$ 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

$$q_j = \bar{\sigma}_j \cdot \theta_j + \sigma_j \cdot r_j \quad (\text{II.29})$$

Avec :

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

* $\bar{\sigma}_j = 1$ si l'articulation j est prismatique

$$*\bar{\sigma}_j = 1 - \sigma_j \quad (\text{II.30})$$

En termes de matrice de transformation homogène, les quatre transformations

Élémentaires définissant le repère R_j dans le repère R_{j-1} donnent la matrice suivante :

$$\mathbf{T}_{j-1,j} = \mathbf{Rot}(X, \alpha_j) + \mathbf{Trans}(X, d_j) \times \mathbf{Rot}(Z_j, \theta_j) \times \mathbf{Trans}(X, R_j) \quad (\text{II.31})$$

Après son développement, on obtient :

$$\mathbf{T}_{j-1,j} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos(\alpha_j) & -\sin(\alpha_j) & 0 \\ 0 & \sin(\alpha_j) & \cos(\alpha_j) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & d_j \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos(\theta_j) & -\sin(\theta_j) & 0 & 0 \\ \sin(\alpha_j) & \cos(\alpha_j) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & r_j \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{T}_{j-1,j} = \begin{bmatrix} \cos(\theta_j) & -\sin(\theta_j) & 0 & d \\ \cos(\alpha_j) \sin(\theta_j) & \cos(\alpha_j) \cos(\theta_j) & -\sin(\alpha_j) & -r \sin(\alpha_j) \\ \sin(\alpha_j) \sin(\theta_j) & \sin(\alpha_j) \cos(\theta_j) & \cos(\alpha_j) & r \cos(\alpha_j) \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (\text{II.32})$$

II.10. Modèle géométrique direct d'un robot manipulateur

Il exprime la position et l'orientation du repère de référence R_E lié à l'outil, relativement à un repère fixe R_F , celui de l'atelier par exemple, en fonction des variables articulaires motorisées (et asservies électroniquement) $q_1, q_2 \dots \dots q_n$ du mécanisme.

Après avoir donné les quatre paramètres $\alpha_j, d_j, \theta_j, r_j$ tous les repères du robot, ainsi que la façon dont sa base est située dans l'espace, on peut complètement indiquer la géométrie du bras à n'importe quel moment.

Le MGD est obtenu par la multiplication successive des matrices de passage entre repères, il est exprimé donc sous forme d'une matrice définie comme suit :

$$F_{TE} = F_{T0} \circ T_1(q_1) \circ T_2(q_2) \dots \dots n - 1 \circ T_n(q_n) \circ n_{TE} \quad (\text{II.33})$$

Il peut aussi être représenté par la relation :

$$X = f(q)$$

Où :

X : est le vecteur des coordonnées opérationnelles, il peut être défini avec les éléments de la matrice T_E^F tel que :

$$X = [p_x p_y p_z s_x s_y s_z n_x n_y n_z a_x a_y a_z] \quad (\text{II.34}) \quad q : \text{étant le vecteur des variables articulaires tel que :}$$

$$q = [q_1 q_2 \dots q_n]^T \quad (\text{II.35})$$

II.10.1. Représentation des coordonnées opérationnelles

Pour définir la situation de l'organe terminal du robot dans l'espace, il faut préciser sa position et son orientation.

Soit :

$$X = \begin{pmatrix} x_p \\ x_r \end{pmatrix} \quad (\text{II.36})$$

Où :

Xp Représente les trois coordonnées opérationnelles de position et xr représente les coordonnées opérationnelles d'orientation.

Pour les coordonnées Xp tout le monde s'accorde pour choisir les composantes cartésiennes, mais pour spécifier une rotation, la matrice F_{RE} présente un nombre surabondant de paramètres (neuf), tandis que, seul trois paramètres indépendants sont suffisants pour une telle représentation.

Plusieurs choix sont possibles et adoptés en pratique pour les coordonnées xr :

- angles de Cardans (Roulis - Tangage - Lacet).
- Quaternions d'Euler : c'est la méthode qu'on a choisi pour notre travail
- angles d'Euler : c'est la méthode qu'on a choisi pour notre travail.

II.10.2. Angles d'Euler

Nous utilisons la représentation par les angles d'Euler α, β, γ ou $(\theta,)$ correspondant à une séquence de trois rotations successives (X, Y', Z'') et qui est utilisée le plus souvent pour les robots à six degrés de liberté à poigné rotule (voir la figure. II.20).

Les angles d'Euler sont exprimés en fonction des cosinus directeurs de la façon suivante :

$$R_{xy'z''}(X, Y', Z'') = \begin{bmatrix} C\beta C\gamma & -C\beta S\gamma & S\beta \\ S\alpha S\beta C\gamma + C\alpha S\gamma & -S\alpha S\beta S\gamma + C\alpha C\gamma & -S\alpha C\beta \\ -C\alpha S\beta C\gamma + S\alpha S\gamma & C\alpha S\beta S\gamma + S\alpha C\gamma & C\alpha C\beta \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} S_x & n_x & a_x \\ S_y & n_y & a_y \\ S_z & n_z & a_z \end{bmatrix} \quad (\text{II.37})$$

$$\beta = \text{atan2}\left(a_{x'}, \sqrt{a_y^2 + a_z^2}\right)$$

$$\gamma = \text{atan2}(-n_x, s_x), \text{ si } \beta \neq \pm \frac{\pi}{2}$$

$$\alpha = \text{atan2}(-a_y, a_z), \text{ si } \beta \neq \pm \frac{\pi}{2}$$

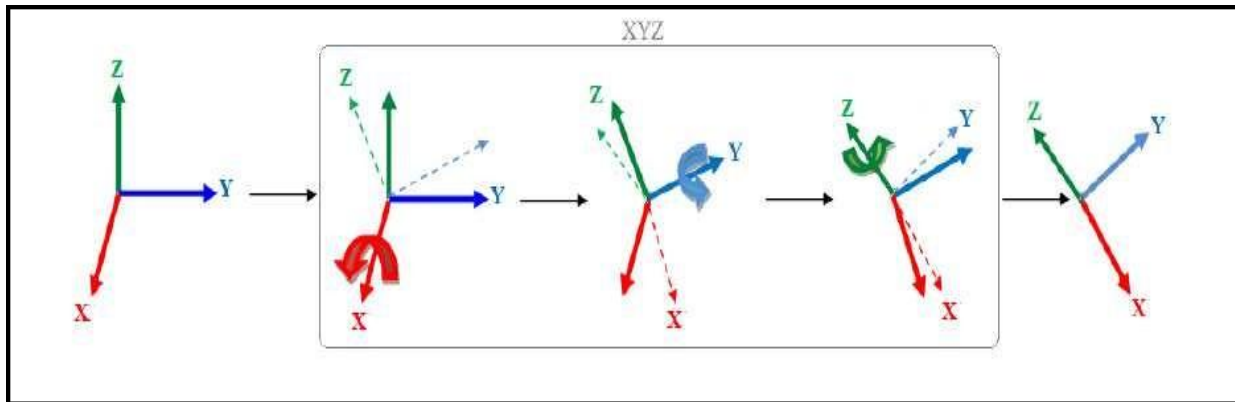


Fig. II.20: Convention d'Euler XYZ

II.11. Espace de travail

Robot parallèle

L'espace de travail d'un robot parallèle correspond au volume total parcouru par l'effecteur, ou la plateforme mobile, lorsque le manipulateur parcourt l'ensemble des positions articulaires possibles. L'espace de travail est déterminé en fonction des paramètres géométriques du manipulateur. Pour une position des actionneurs, il peut exister plusieurs positions possibles de la plate-forme mobile. Ces différentes positions correspondent à différentes configurations des jambes, appelées modes d'actionnement. Les différents modes d'actionnement sont séparés les uns des autres par des singularités de Type 2, et un aspect de l'espace de travail est associé à chaque mode d'assemblage.

De même, pour une position fixée de la plate-forme mobile, il peut exister plusieurs positions des actionneurs, appelées modes de fonctionnement. Les différents modes d'assemblage sont généralement séparés par une singularité de Type 2.

Il est aujourd'hui encore très complexe de déterminer le lieu des singularités de Type 2 pour les robots à plus de trois degrés de liberté. De plus, il est généralement considéré qu'il est impossible pour un mécanisme de traverser ces singularités. Les robots parallèles sont alors limités à une partie de leur espace de travail total, appelée espace de travail opérationnel.

Afin d'illustrer l'impact des singularités de Type 2 sur l'espace de travail des mécanismes parallèles, on s'intéresse à un mécanisme plan 5R (mécanisme à cinq barres). La (figure .II.23) représente les différents aspects de l'espace de travail d'un mécanisme 5R sans

Prendre en compte les éventuelles collisions mécaniques. Pour chacun des quatre modes de fonctionnement du mécanisme, on remarque qu'il existe deux modes d'assemblage. Le premier, représenté en blanc sur la (figure. II.23), est l'espace accessible sans rencontrer de singularité. Le deuxième, représenté en jaune, est séparé du premier par une singularité de Type 2 (ou singularité parallèle), en rouge sur la (figure. II.23). Enfin les singularités sérielles (en noir) délimitent l'espace de travail total. Finalement, on remarque que quel que soit le mode de fonctionnement, l'espace de travail opérationnel est largement inférieur à l'espace de travail total du mécanisme.

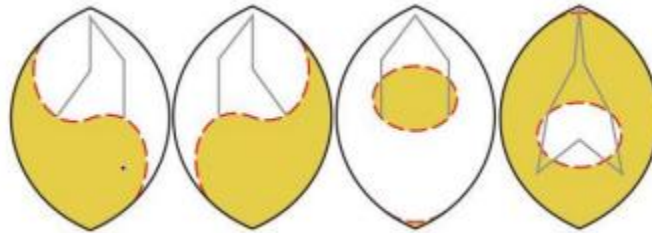


Fig. II.23: Mode de fonctionnement singularités sérielles (noir), singularités parallèle (pointillés)

Robot serials

L'espace de travail d'un robot sériel est défini comme l'espace atteignable par l'effecteur final. La taille de l'espace de travail est fonction de plusieurs facteurs : le nombre de degrés de liberté, la longueur des éléments constituant le robot, la disposition des articulations, les limites des articulations (comme les butées mécaniques) et les interférences mécaniques entre ses éléments.

CHAPITRE 3 :

**Modélisation et
schématisation
cinématique**

III.1. Définition de la chaîne ouverte constituant un robot

III.1.1. Repérage des solides

Le solide 1 est en liaison avec le bâti 0 et avec le solide 2. Le solide k est en liaison avec le solide $k - 1$ et le solide $k + 1$. Le dernier solide, n ; est généralement l'élément de préhension ou pince est en liaison avec le solide $n - 1$ (figure. III.1) [23].

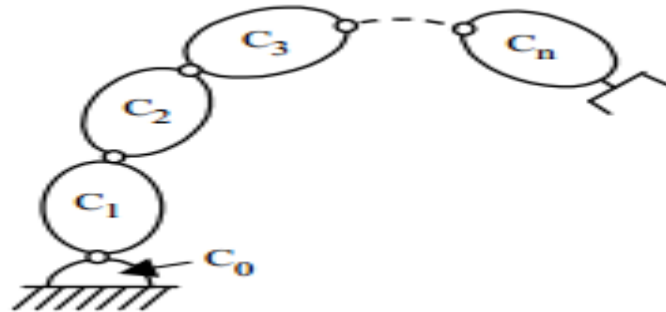


Fig.III.1 : Repérage des liaisons entre solides

III.1.2. Repérage et définition des liaisons entre solides

Seules les liaisons simples [23]:

- Pivot assurant une liberté relative en rotation
- Glissière assurant une liberté relative en translation,

La liaison entre le solide $k-1$ et le solide k sera repérée par $L_{k-1,k}$. La liaison comportera toujours deux indices pris dans le sens de 0 vers n .

III.1.3. Ecriture des torseurs associés aux deux liaisons simples

Exemple d'une liaison $L_{k-1,k}$ pivot d'axe (A, \vec{x}) [23].

➤ Torseur cinématique associé :

$$\{\tau_c (K/k-1)\} = \begin{Bmatrix} \omega_x(k/k-1) & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{Bmatrix}_{(\vec{x}_1, \vec{y}_1, \vec{z}_1)} \quad (\text{III.1})$$

➤ Torseur statique associé :

$$\{\tau_c(\mathbb{K}/k-1)\} = \left\{ \begin{array}{cc} X(k/k-1) & 0 \\ Y(k/k-1) & X(k-1/k) \\ Z(k/k-1) & N(k-1/k) \end{array} \right\}_{(\vec{x}_1, \vec{y}_1, \vec{z}_1)} \quad (\text{III.2})$$

Exemple d'une liaison $L_{k-1,k}$ glissière de direction (B, \vec{y}) .

➤ Torseur cinématique associé :

$$\{\tau_c(\mathbb{K}/k+1)\} = \left\{ \begin{array}{cc} 0 & 0 \\ 0 & v_x(k+1/k) \\ 0 & 0 \end{array} \right\}_{(\vec{x}_1, \vec{y}_1, \vec{z}_1)} \quad (\text{III.3})$$

➤ Torseur statique associé :

$$\{\tau_c(\mathbb{K}/k+1)\} = \left\{ \begin{array}{cc} X(k/k+1) & L(k/k+1) \\ 0 & M(k/k+1) \\ Z(k/k+1) & N(k/k+1) \end{array} \right\}_{(\vec{x}_1, \vec{y}_1, \vec{z}_1)} \quad (\text{III.4})$$

III.2. Chaîne continue ouverte

III.2.1. Définition

Si une pièce n est liée à une pièce 0 que nous pourrions désigner par bâti par l'intermédiaire de $n-1$ pièce placée en série. Et si ces n pièces sont liées deux à deux par une liaison simple. Alors ces n liaisons constituant une chaîne continue ouverte (figure.III.2) [23].

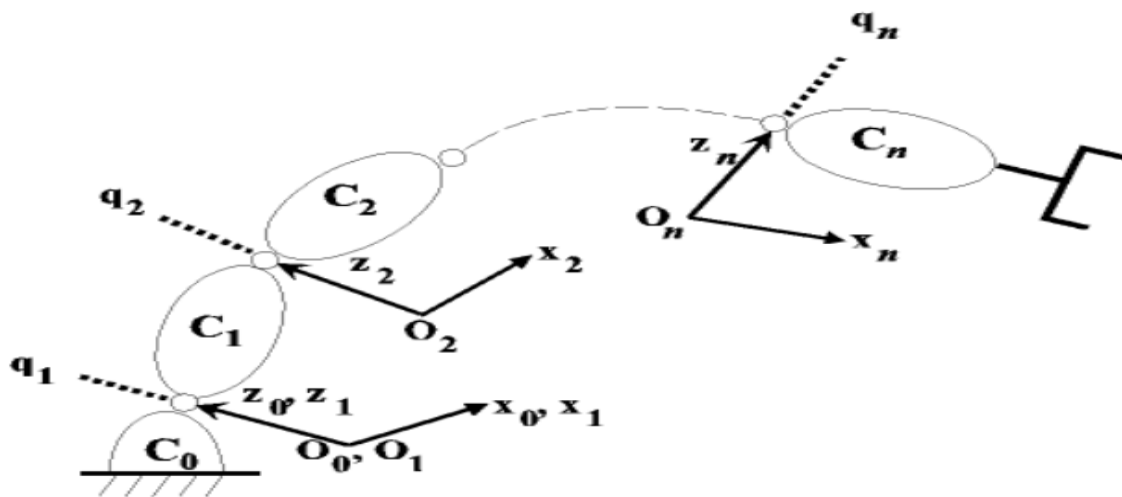


Fig.III.2 : Robot à structure simple ouvert

III.2.2. Numérotage des pièces et des liaisons

Dans le but de simplifier les écritures, et donc de permettre une lecture plus facile de l'exposé, nous conviendrons : de numéroter les pièces à partir du bâti 0 jusqu'à la pièce d'extrémité n. c'est-à-dire de donner un sens conventionnel à la chaîne de numéroter les liaisons avec un seul indice :

- La liaison (2-3) sera numérotée L_3 .
- La liaison [(n-1) - n] sera numérotée L_n .

Bien entendu, dans des problèmes complexes, il faudra savoir à une numérotation des liaisons plus complète, par exemple liaison (2-3) = $L_{2,3}$

Dans une chaîne continue ouverte, il y a autant de pièces mobiles (le bâti 0 excepté) que de liaisons simples en série.

- La liaison (0-n) associée à la totalité de la chaîne continue ouverte est appelée liaison équivalente $L_{0,n}$ [25].

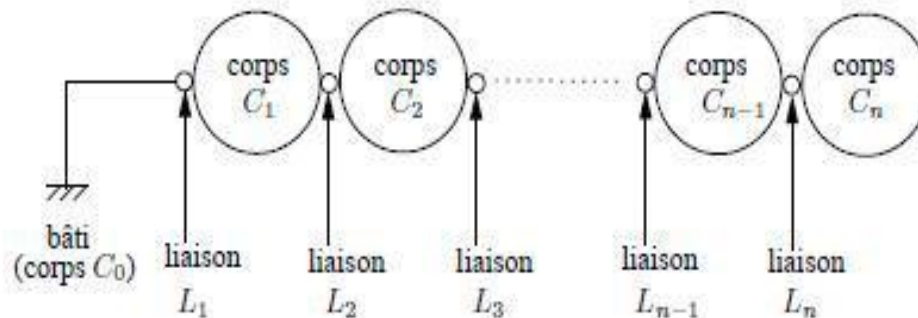


Fig.III.3 : Robot a structure ouvert simple

III.2.3. Paramétrage des positions relatives des pièces de 0 à n

Le positionnement relatif des pièces les uns par rapport aux autres peut se ramener à l'étude des positions relatives des repères que l'on peut associer à chacune des pièces. (figure.III.4) [23].

- ❖ **Le repère R_0** ($0, \vec{x}_0, \vec{y}_0, \vec{z}_0$) est lié au bâti 0 , c'est donc le repère fixe. Le point 0 est théoriquement le centre géométrique de la liaison (0-1) notée L_1 .
- ❖ **Le repère R_1** ($A, \vec{x}_0, \vec{y}_0, \vec{z}_0$) est lié à la pièce 1. Le point A est théoriquement le centre géométrique de la liaison (1-2) notée L_2 .

- ❖ Le repère $R_i(L, \vec{x}_i, \vec{y}_i, \vec{z}_i)$ est lié à la pièce **i**. Le point **L** est théoriquement le centre géométrique de la liaison (i - j) notée L_j .

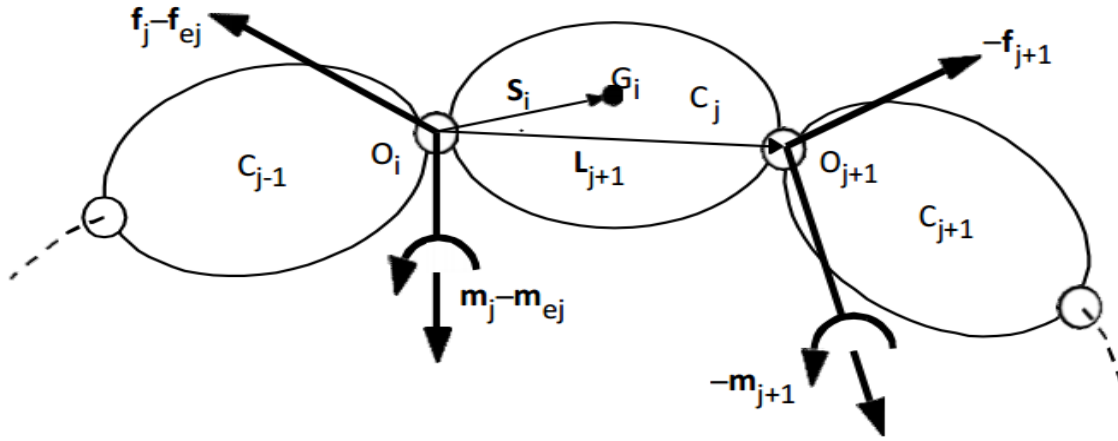


Fig.III.4 : Présentation du paramétrage de la position relative des pièces

- ❖ Le repère $R_j(J, \vec{x}_j, \vec{y}_j, \vec{z}_j)$ est lié à la pièce **j**. Le point **J** est théoriquement le centre géométrique de la liaison (i - j) notée L_j .
- ❖ Le repère $R_i(A, \vec{x}_i, \vec{y}_i, \vec{z}_i)$ est lié à la pièce **i**. Le point **L** est théoriquement le centre géométrique de la liaison (j - k) notée L_K Jusqu'à **n** [23]

Si on utilise, entre les pièces, des liaisons dont le nombre de degrés de liberté est important et si on a un certain nombre de liaisons en série ($n > 3$, Par exemple), les nombres de paramètres de position est tellement élevé que l'étude devient inextricable sans le secours de logiciels informatiques. On se limitera donc aux cas que l'on rencontre le plus souvent.

- **Premier cas ($n \leq 3$)**

Les liaisons présentent un nombre de degrés de liberté supérieur à 2, 3, 4 ou 5 mais le nombre de liaisons en série est inférieur ou égal à 3.

- **Deuxième cas ($n > 3$)**

Les liaisons sont à un seul degré de liberté (pivot ou glissière) mais le nombre de liaisons en série est important ($n > 3$). Ce cas est celui de la plus partant des robots et manipulateurs.

Le problème est faisable et sera traité dans ce chapitre

III.3. Etude de mécanisme d'un robot à 3 axes

Des mécanismes de robot à Troie axes, on rencontre assez souvent des pièces en série liées deux à deux par une liaison simple. Le but de notre étude est d'examiner la structure de torseur d'action extérieur qui peut s'exercer sur la pièce d'extrémité ainsi que les caractéristiques du torseur cinématique de la liaison équivalente.

III.3.1. Paramétrage

Considérons le schéma cinématique minimal d'un robot constitué des solides 1, 2, et 3 en plus en bâti O.

On définit les différentes liaisons par le graphe (figure.III.5).

- Liaison (0-1) : $L_{0,1}$ est une liaison pivot d'axe (O, \vec{z}_0) ,
- Liaison (1-2) : $L_{1,2}$ est une liaison glissière d'axe (B, \vec{z}_1) ,
- Liaison (2-3) : $L_{2,3}$ est une liaison pivot d'axe (C, \vec{z}_2) ,

On donne en utilisant le mètre pour unité de longueur.

$$\color{red}{\oplus} \quad \vec{OC} = \vec{OA} + \vec{AB} + \vec{BC}$$

$$\color{red}{\oplus} \quad \vec{OA} = \vec{0}$$

$$\color{red}{\oplus} \quad \vec{AB} = b\vec{y}_1 = 0.5\vec{y}_1$$

$$\color{red}{\oplus} \quad \vec{BC} = c\vec{y}_2 = 0.8\vec{y}_2$$

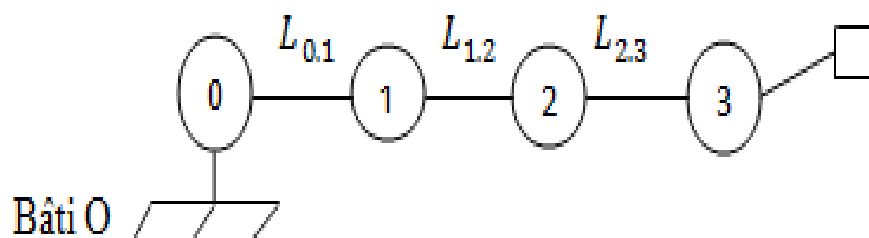


Fig.III.5 : Présentation graphe cinématique de robot à 3 axes

Définition des bases :

- $R_0:(O, \vec{x}_0, \vec{y}_0, \vec{z}_0)$ Le repère fixe lié au bâti 0.

- $R_1:(A, \vec{x}_1, \vec{y}_1, \vec{z}_1)$ Tel que : $\vec{z}_0 = \vec{z}_1$; $(\vec{x}_0, \vec{x}_1) = \alpha$
- $R_2:(B, \vec{x}_2, \vec{y}_2, \vec{z}_2)$ Tel que : $\overline{AB} = by_2$; $\vec{x}_2 = \vec{x}_1$; $\vec{y}_2 = \vec{y}_1$; $\vec{z}_2 = \vec{z}_1$
- $R_3:(C, \vec{x}_3, \vec{y}_3, \vec{z}_3)$ Tel que : $\overline{BC} = cy_2$, $\vec{y}_2 = \vec{y}_3$; $(\vec{x}_2, \vec{x}_3) = \beta$

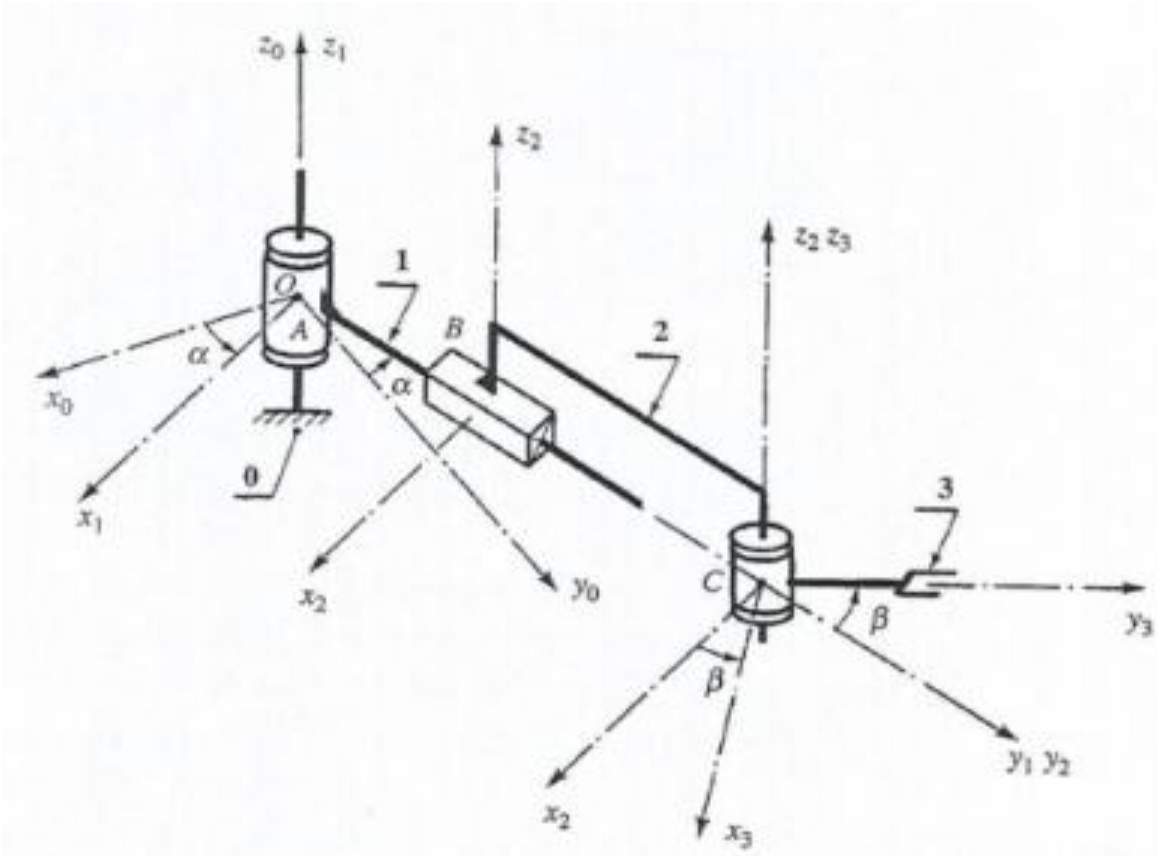


Fig.III.6 : Présentation schéma cinématique de robot à 3 axes

III.3.2. Définition de la matrice de changement de base

Désignons par $[B0, 1]$ la matrice de passage de base $R1 (\vec{x}_1, \vec{y}_1, \vec{z}_1)$ vers la base $R0 (\vec{x}_0, \vec{y}_0, \vec{z}_0)$ cette matrice permet d'exprimer dans un vecteur connu dans $R1$.

Nous noterons ce passage : $[R0] = [B0, 1] [R1]$.

$$[B_{0,1}] = \begin{bmatrix} \cos \alpha & -\sin \alpha & 0 \\ \sin \alpha & \cos \alpha & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (\text{III.5})$$

Désignant par $[B1, 2]$ la matrice de passage de la base $R2$ vers la base de R

$$[B_{1,2}] = [I] \quad (\text{III.6})$$

Désignant par $[B_2, 3]$ la matrice de passage de la base R_3 vers la base de R_2 .

$$[B_{2,3}] = \begin{bmatrix} \cos \beta & -\sin \beta & 0 \\ \sin \beta & \cos \beta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (\text{III.7})$$

III.4. Etude cinématique d'un robot a 3 axes

Soit $\{\tau_c(n/0)\}$ le torseur cinématique associé à la laissons équivalent $L_{0,n}$.

Soit $\{\tau_c(i/i-1)\}$ le torseur linéaire associé à la laissons équivalent L_i .

On écrit :

$$\sum_{i=1}^n \{\tau_c(i/i-1)\} = \{\tau_s(n/0)\} \text{ Pour } 1 \leq i \leq n \quad (\text{III.8})$$

Exprimons les composants de tout ce torseur au même point et dans la même base.

La relation (...) permet l'écriture de 6 équations algébriques :

$$N_C = \sum_{i=1}^n N_{Ci} \quad (\text{III.9})$$

Le nombre d'inconnus cinématiques indépendantes des laissons simples.

Mobilité de la chaîne

La mobilité cinématique m_c de la chaîne continue ouverte est égale au nombre total d'inconnues cinématiques N_C relatif à l'ensemble des liaisons simples de la chaîne.

$$m_c = N_C \quad (\text{III.10})$$

Mobilités internes

La mobilité interne m_c d'une chaîne continue ouverte est les degrés de liberté qui existent entre les déferlantes pièces de la chaîne lorsque la pièce extérieure n est immobilisée par rapport au bâti 0.

Mobilités utiles

La mobilité cinématique utile m_{cu}

Relation entre les mobilités cinématiques :

$$m_c = m_{cu} + m_{ci} \quad (\text{III.11})$$

Exemple d'application sur le robot à 3 axes

Etude cinématique définitions le mouvement de pince 3 par rapport au bâti 0 c'est-à-dire les composantes du torseur $\{\tau_c(3/0)\}_0^{R_0}$ en O et dans R_0 est la relation entre les torseurs cinématique des liaisons élémentaire série s'écrit :

$$\{\tau_c(3/2)\} + \{\tau_c(2/1)\} + \{\tau_c(1/0)\} = \{\tau_c(3/0)\} \quad (\text{III.12})$$

Pour chacun de torseurs nous suivrons la démarche :

- Expression ou centre de la liaison dans la base associée,
- de centre de réduction et expression en O
- Changement de base et expression en O et dans R_0

Le but de cette étude est de définir les mouvements de l'organe de la préhension 3 par rapport au bâti 0, c'est-à-dire le torseur cinématique.

$$\{\tau_c(3 \rightarrow 0)\} = \begin{Bmatrix} \vec{\Omega}(3 \rightarrow 2) \\ \vec{V}(3 \rightarrow 2) \end{Bmatrix}_0 \quad (\text{III.13})$$

Les composantes de $\vec{\Omega}(3 \rightarrow 2)$ et de $\vec{V}(3 \rightarrow 2)$ doivent être exprimées dans la base

Fixe $(\vec{x}_0, \vec{y}_0, \vec{z}_0)$.

III.4.1. Torseurs cinématiques associés à chaque liaison

Liaison (0-1) : L_{0-1} est une liaison pivot d'axe (O, \vec{z}_0)

$$\{\tau_c(1/0)\} = \begin{Bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ \omega_z(1/0) & 0 \end{Bmatrix}_{(\vec{x}_0, \vec{y}_0, \vec{z}_0)} \quad N_c(1/0) = 1 \quad (\text{III.14})$$

Liaison (1-2) : L_{1-2} est une liaison glissière d'axe (A, \vec{z}_2)

$$\{\tau_c(2/1)\} = \begin{Bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & \omega_y(2/1) \\ 0 & 0 \end{Bmatrix}_{(\vec{x}_1, \vec{y}_1, \vec{z}_1)} \quad N_c(2/1) = 1 \quad (\text{III.15})$$

Liaison (2-3) : L_{3-2} est une liaison pivot d'axe (B, \vec{z}_3)

$$\{\tau_c(3/2)\} = \begin{Bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ \omega_z(3/2) & 0 \end{Bmatrix}_{(\vec{x}_2, \vec{y}_2, \vec{z}_2)} \quad N_C(3/1) = 1 \quad (\text{III.16})$$

III.4.2. Torseur cinématique équivalent

❖ Etude de $\{\tau_c(3/2)\}$

Liaison pivot d'axe (B, \vec{z}_3)

$$\{\tau_c(3/2)\} = \begin{Bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ \omega_z(3/2) & 0 \end{Bmatrix}_{(\vec{x}_2, \vec{y}_2, \vec{z}_2)} \quad N_C(3/2) = 1 \quad (\text{III.17})$$

Changement de centre dans la base B_2 :

$$\overline{OC} = \overline{OA} + \overline{AB} + \overline{BC} \quad (\text{III.18})$$

$$\overline{OC} = \vec{0} + b\vec{y}_1 + c\vec{y}_2 \quad (\text{III.19})$$

$$\overline{OC} = (b + c)\vec{y}_2 = (1.3)\vec{y}_2 \quad (\text{III.20})$$

$$b = 0.5m; c = 0.8m.$$

Dou :

$$\{\tau_c(3/2)\} = \begin{Bmatrix} 0 & (1.3)\omega_z(3/2) \\ 0 & 0 \\ \omega_z(3/2) & 0 \end{Bmatrix}_{(\vec{x}_2, \vec{y}_2, \vec{z}_2)} \quad (\text{III.21})$$

Ecrivons que :

$$[\Omega(3/2)]_0 = [B_{0,2}][\Omega(3/2)]_2 \quad (\text{III.22})$$

$$\text{Et } [V(3/2)]_0 = [B_{0,2}][V(3/2)]_2 \quad (\text{III.23})$$

$$\text{Avec } [B_{0,2}] = [B_{0,1}][B_{1,2}] = [B_{0,1}] \quad (\text{III.24})$$

Alors :

$$\{\tau_c(3/2)\} = \begin{Bmatrix} 0 & (1.3)\omega_z(3/2) \cos \alpha \\ 0 & (1.3)\omega_z(3/2) \sin \alpha \\ \omega_z(3/2) & 0 \end{Bmatrix}_{(\vec{x}_0, \vec{y}_0, \vec{z}_0)} \quad (\text{III.25})$$

❖ Etude de $\{\tau_c(2/1)\}$

L_{1-2} est une liaison glissière d'axe (A, \vec{z}_2)

$$\{\tau_c(2/1)\} = \begin{Bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & \omega_y(2/1) \\ 0 & 0 \end{Bmatrix}_{(\vec{x}_1, \vec{y}_1, \vec{z}_1)} \quad N_c(2/1) = 1 \quad (\text{III.26})$$

$\{\tau_c(2/1)\}$ est un torseur couple, il s'exprime donc de la même façon en O qu'en B :

$$\{\tau_c(2/1)\} = \begin{Bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & \omega_y(2/1) \\ 0 & 0 \end{Bmatrix}_{(\vec{x}_1, \vec{y}_1, \vec{z}_1)} \quad (\text{III.27})$$

$$\text{Ecrivons que : } [V]_0 = [B_{0,1}][V]_1 \quad (\text{III.28})$$

Alors :

$$\{\tau_c(2/1)\} = \begin{Bmatrix} 0 & -v_y(2/1) \sin \alpha \\ 0 & v_y(2/1) \cos \alpha \\ 0 & 0 \end{Bmatrix}_{(\vec{x}_0, \vec{y}_0, \vec{z}_0)} \quad (\text{III.29})$$

❖ Etude de $\{\tau_c(1/0)\}$

L_{0-1} est une liaison pivot d'axe (O, \vec{z}_0)

En peut écrire la directement :

$$\{\tau_s(1/0)\} = \begin{Bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ \omega_z(1/0) & 0 \end{Bmatrix}_{(\vec{x}_0, \vec{y}_0, \vec{z}_0)} \quad N_c(1/0) = 1 \quad (\text{III.30})$$

❖ Écriture de $\{\tau_c(3/0)\}$

C'est le torseur cinématique de la liaison équivalente .ce torseur est à quel conte .nous l'écrivons en O et dans $R_0(\vec{x}_0; \vec{y}_0; \vec{z}_0)$

$$\{\tau_c(3/0)\} = \left\{ \begin{array}{cc} \omega_x(3/0) & v_x(3/0) \\ \omega_y(3/0) & v_y(3/0) \\ \omega_z(3/0) & v_z(3/0) \end{array} \right\}_{(\vec{x}_0, \vec{y}_0, \vec{z}_0)} \quad (\text{III.31})$$

En portant les valeurs trouvées en (III.25) (III.29) (III.22) et (III.30) dans la relation (III.31) entre les torseurs cinématique, on obtient les 6 équations algébriques ci-dessous :

$$\triangleright \omega_x(3/0) = 0 \quad (\text{III.32})$$

$$\triangleright \omega_y(3/0) = 0 \quad (\text{III.33})$$

$$\triangleright \omega_z(3/0) = \omega_z(1/0) + \omega_z(3/2)v_x(3/0) \quad (\text{III.34})$$

$$\triangleright v_x(3/0) = v_y(2/1) \sin \alpha - (1.3)\omega_z(3/2) \cos \alpha \quad (\text{III.35})$$

$$\triangleright v_y(3/0) = v_y(2/1) \cos \alpha + (1.3)\omega_z(3/2) \sin \alpha \quad (\text{III.36})$$

$$\triangleright v_z(3/0) = 0$$

Le torseur cinématique de la liaison équivalente s'exprime donc en O et dans $(\vec{x}_0; \vec{y}_0; \vec{z}_0)$ par :

$$\{\tau_c(3/0)\} = \left\{ \begin{array}{cc} 0 & v_x(3/0) \\ 0 & v_y(3/0) \\ \omega_z(3/0) & 0 \end{array} \right\}_{(\vec{x}_0, \vec{y}_0, \vec{z}_0)} \quad (\text{III.37})$$

Le nombre d'inconnue cinématique indépendante de la liaison équivalente est de trois.

❖ Définition des mobilités

- Mobilité cinématique :

$$m_c = N_c = 3 \quad (\text{III.38})$$

- Mobilité cinématique utile :

$$m_{cu} = \text{Nombre d'inconnues indépendantes de } L_{03}$$

$$m_{cu} = 3 \quad (\text{III.39})$$

- Mobilité cinématique interne : m_{ci}

$$m_c = m_{cu} + m_{ci} \quad (\text{III.40})$$

$$m_{ci} = 0 \quad (\text{III.41})$$

III.5. Etude statique d'un robot a 3 axes

Soit $\{\tau_s(\text{ext} \rightarrow n)\}$ le torseur d'action extérieure qui s'exerce sur la pièce d'extrémité n.

Et soit $\{\tau_s(i-1 \rightarrow i)\}$ le torseur d'action mécanique transmissible de la liaison L_i . On écrira la relation suivante : $\{\tau_s(i-1 \rightarrow i)\} + \{\tau_s(\text{ext} \rightarrow n)\} = \{\vec{0}\}$

Donc :

$$\{\tau_s(i-1 \rightarrow i)\} = \{\tau_s(\text{ext} \rightarrow n)\} \quad (\text{III.42})$$

Notons $\{\tau_s(\text{ext} \rightarrow n)\}$ est égale au torseur d'action mécanique transmissible par la liaison équivalent L_0, n .

Nous exprimerons ces composantes en un même point et dans le même repère, en général, $R_0 = (0, \vec{x}_0, \vec{y}_0, \vec{z}_0)$ lie au bâti 0.

La relation (III.42) permet l'écriture de $3n$ équations, soit : $N_C = \sum_{i=1}^n N_{S_i}$ le nombre d'inconnus statique indépendants des liaisons simples.

Pour une valeur de i :

La relation (III.42) donne six équations algébriques d'équilibre comportant N_{S_i} inconnus statiques indépendants de ce liaisons.

Les six équations constituent un système linéaire de N_{S_i} équations supplémentaires. (Ces équations sont caractérisées soit par un premier membre nul soit par un premier membre introduisant une relation entre les composants du torseur d'action extérieur $\{\tau_s(\text{ext} \rightarrow n)\}$

Quand i varie de 1 à n

Le système de $3n$ équations d'équilibre comporte N équations principales de rang $r_s = N_s$ et $3n - N_s$ équation supplémentaire.

Donc : $h_s = r_s - N_s = 0$ la liaisons équivalent $L_{0, n}$ est toujours isostatique [25].

Exemple d'application sur le robot 3 axes

La pièce 3 (pince du robot) est soumise à l'action de la liaison $L_{2,3}$ avec la pièce 2. Soit $\{\tau_S(2 \rightarrow 3)\}$ le torseur d'action mécanique transmissible (τ . A. M. T) par cette liaison.

La pièce 3 étant la pièce d'extrémité de la chaîne est en fait la pièce qui remplit le rôle d'effectuer. Elle est donc soumise au torseur d'action extérieure $\{\tau_S(e \rightarrow 3)\}$ qui est à priori inconnu mais qui, compte-tenu de la nécessité d'être dans une configuration d'équilibre, ne peut certainement pas être quelconque.

Notons $\{\tau_S(e \rightarrow 3)\}$ le torseur des forces extérieures que l'on peut appliquer sur la pièce d'extérieure 3 (pince du robot).

Le but de notre étude est d'exprimer les composantes du torseur extérieure $\{\tau_S(e \rightarrow 3)\}$ sur la pièce 3 (pince) dans le repère $R_3 = (\vec{x}_3, \vec{y}_3, \vec{z}_3)$ ou Point Excentre de Laissons (2-3).

Nous avons pour les chaînes simples ouvertes la relation de la statique :

$$\{\tau_S(1 \rightarrow 0)\} = \{\tau_S(2 \rightarrow 1)\} = \{\tau_S(3 \rightarrow 2)\} = \{\tau_S(e \rightarrow 3)\} \quad (\text{III.43})$$

Tous ces torseurs seront donc réduits au point E exprimés dans la base $R_6 (\vec{x}_3, \vec{y}_3, \vec{z}_3)$

❖ Torseur statique $\{\tau_S(1 \rightarrow 0)\}$

L (1/0) = Pivot d'axe (O, \vec{z}_0)

$$\{\tau_S(1/0)\} = \begin{matrix} \left. \begin{matrix} X(1 \rightarrow 0) & L(1 \rightarrow 0) \\ Y(1 \rightarrow 0) & M(1 \rightarrow 0) \\ Z(1 \rightarrow 0) & 0 \end{matrix} \right\} \\ \left. \begin{matrix} \\ \\ \end{matrix} \right\}_{(\vec{x}_0, \vec{y}_0, \vec{z}_0)} \end{matrix} \quad N_C = 5 \quad (\text{III.44})$$

- Changement de centre dans la base $(\vec{x}_0, \vec{y}_0, \vec{z}_0)$

Nous avons vu que : $\vec{OC} = (b + c)\vec{y}_1$ (III.45)

$$\vec{OC} = (0.5 + 0.8)\vec{y}_1$$

$$\text{Donc } [CO]_0 = [B_{0,1}][CO]_1 \quad (\text{III.46})$$

$$\vec{CO} = (b + c) \sin \alpha \vec{x}_0 - (b + c) \cos \alpha \vec{y}_0 \quad (\text{III.47})$$

$$\vec{CO} = (0.5 + 0.8) \sin \alpha \vec{x}_0 - (0.5 + 0.8) \cos \alpha \vec{y}_0 \text{ Et :}$$

$$\{\tau_s(1/0)\}_c = \left. \begin{array}{l} X(1 \rightarrow 0) \quad L(1 \rightarrow 0) - (0.5 + 0.8) \cos \alpha Z(1 \rightarrow 0) \\ Y(1 \rightarrow 0) \quad M(1 \rightarrow 0) - (0.5 + 0.8) \sin \alpha Z(1 \rightarrow 0) \\ Z(1 \rightarrow 0) \quad (0.5 + .08) \sin \alpha Y(1 \rightarrow 0) + (0.5 + 0.8) \cos \alpha X(1 \rightarrow 0) \end{array} \right\}_{(\vec{x}_0, \vec{y}_0, \vec{z}_0)} \quad (\text{III.48})$$

Changement de base.

$$[R(1 \rightarrow 0)]_3 = [B_{3,0}][R(1 \rightarrow 0)]_0 \quad (\text{III.49})$$

Et

$$[M_C(1 \rightarrow 0)]_3 = [B_{3,0}][M_C(1 \rightarrow 0)]_0 \quad (\text{III.50})$$

$$\text{Avec } [B_{3,0}] = [B_{0,3}] \quad (\text{III.51})$$

$$[B_{0,3}] = [B_{0,1}][B_{1,2}][B_{2,3}] \text{ Et comme } [B_{1,2}] = [I] \quad (\text{III.52})$$

$$[B_{0,3}] = [B_{0,1}][B_{2,3}] \quad (\text{III.53})$$

Soit :

$$[B_{0,3}] = \begin{bmatrix} \cos(\alpha + \beta) & -\sin(\alpha + \beta) & 0 \\ \sin(\alpha + \beta) & \cos(\alpha + \beta) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (\text{III.54})$$

ET

$$[B_{3,0}] = \begin{bmatrix} \cos(\alpha + \beta) & \sin(\alpha + \beta) & 0 \\ -\sin(\alpha + \beta) & \cos(\alpha + \beta) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (\text{III.55})$$

On écrira donc en C et dans $(\vec{x}_3, \vec{y}_3, \vec{z}_3)$ la relation (III.56) :

$$\{\tau_s(1/0)\}_c = \left. \begin{array}{l} X(1 \rightarrow 0) \cos(\alpha + \beta) + Y(1 \rightarrow 0) \sin(\alpha + \beta) \quad L(1 \rightarrow 0) \cos(\alpha + \beta) + M(1 \rightarrow 0) \sin(\alpha + \beta) - (0.5 + 0.8)Z(1 \rightarrow 0) \cos \beta \\ -X(1 \rightarrow 0) \sin(\alpha + \beta) + Y(1 \rightarrow 0) \cos(\alpha + \beta) \quad -L(1 \rightarrow 0) \sin(\alpha + \beta) + M(1 \rightarrow 0) \cos(\alpha + \beta) + (0.5 + 0.8)Z(1 \rightarrow 0) \sin \beta \\ Z(1 \rightarrow 0) \quad (0.5 + 0.8)X(1 \rightarrow 0) \cos \alpha + (0.5 + 0.8)Y(1 \rightarrow 0) \sin \alpha \end{array} \right\}_{(\vec{x}_0, \vec{y}_0, \vec{z}_0)} \quad (\text{III.56})$$

❖ Torseur statique $\{\tau_s(2 \rightarrow 1)\}$

$L_{1,2}$ est une liaison glissière d'axe (B, \vec{z}_2)

$$\{\tau_s(2/1)\}_B = \left. \begin{array}{l} X(2 \rightarrow 1) \quad L(2 \rightarrow 1) \\ 0 \quad M(2 \rightarrow 1) \\ Z(2 \rightarrow 1) \quad N(2 \rightarrow 1) \end{array} \right\}_{(\vec{x}_1, \vec{y}_1, \vec{z}_1)} \quad N_{S_{1,2}} = 5 \quad (\text{III.57})$$

- Changement de centre dans la base $(\vec{x}_1, \vec{y}_1, \vec{z}_1)$

$$\text{Nous avons vu que : } \overline{BC} = c\overline{y_2} = c\overline{y_1} \quad (\text{III.58})$$

$$\text{Donc } \overline{CB} = -c\overline{y_1} \quad (\text{III.59})$$

Et

$$\tau_s(2/1) = \left\{ \begin{array}{cc} X(2 \rightarrow 1) & L(2 \rightarrow 1) - cZ(2 \rightarrow 1) \\ 0 & M(2 \rightarrow 1) \\ Z(2 \rightarrow 1) & N(2 \rightarrow 1) + cX(2 \rightarrow 1) \end{array} \right\}_{(\vec{x}_1, \vec{y}_1, \vec{z}_1)} \quad (\text{III.60})$$

- Changement de base :

$$\text{Ecrivons que : } [R(2 \rightarrow 1)]_3 = [B_{3,1}][R(2 \rightarrow 1)]_1 \quad (\text{III.61})$$

$$\text{Et } [M_C(2 \rightarrow 1)]_3 = [B_{0,3}][M_C(2 \rightarrow 1)] \quad (\text{III.62})$$

Avec :

$$[B_{3,1}] = [B_{1,3}] \quad (\text{III.63})$$

$$[B_{1,3}] = [B_{1,2}][B_{2,3}] \text{ Et comme } [B_{1,2}] = [I]$$

$$[B_{1,3}] = [B_{2,3}] \quad (\text{III.64})$$

Soit :

$$[B_{1,3}] = \begin{bmatrix} \cos \beta & -\sin \beta & 0 \\ \sin \beta & \cos \beta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (\text{III.65})$$

$$[B_{3,1}] = \begin{bmatrix} \cos \beta & \sin \beta & 0 \\ -\sin \beta & \cos \beta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (\text{III.66})$$

On écrira donc en C et dans $(\vec{x}_3, \vec{y}_3, \vec{z}_3)$ la relation (III.67) :

$$\tau_s(2/1) = \left\{ \begin{array}{cc} X(2 \rightarrow 1) \cos \beta & L(2 \rightarrow 1) \cos \beta - 0.8 Z(2 \rightarrow 1) \cos \beta + M(2 \rightarrow 1) \sin \beta \\ -X(2 \rightarrow 1) \sin \beta & -L(2 \rightarrow 1) \sin \beta + 0.8 Z(2 \rightarrow 1) \sin \beta + M(2 \rightarrow 1) \cos \beta \\ Z(2 \rightarrow 1) & N(2 \rightarrow 1) + 0.8 X(2 \rightarrow 1) \end{array} \right\}_{(\vec{x}_3, \vec{y}_3, \vec{z}_3)} \quad (\text{III.67})$$

❖ Torseur statique $\{\tau_s(3 \rightarrow 2)\}$

$L_{2,3}$: Est une liaison pivot d'axe (C, \vec{z}_2)

$$\{\tau_s(3/2)\} = \left\{ \begin{array}{cc} X(3 \rightarrow 2) & L(3 \rightarrow 2) \\ Y(3 \rightarrow 2) & M(3 \rightarrow 2) \\ Z(3 \rightarrow 2) & 0 \end{array} \right\}_{(\vec{x}_2, \vec{y}_2, \vec{z}_2)} \quad N_{C2,3} = 5 \quad (\text{III.68})$$

- Changement de base

$$\text{- Ecrivons que : } [R(3 \rightarrow 2)]_3 = [B_{3,2}][R(3 \rightarrow 2)]_2 \quad (\text{III.69})$$

$$\text{Et} \quad [M_C(3 \rightarrow 2)]_3 = [B_{3,2}][R(3 \rightarrow 2)]_2 \text{ avec } [B_{3,2}] = [B_{2,3}] \quad (\text{III.70})$$

Soit :

$$[B_{3,2}] = \begin{bmatrix} \cos \beta & \sin \beta & 0 \\ -\sin \beta & \cos \beta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (\text{III.71})$$

On écrira donc en C et dans $(\vec{x}_3, \vec{y}_3, \vec{z}_3)$ la relation (III.72) :

$$\tau_s(3/2) = \begin{matrix} \left(\begin{array}{cc} X(3 \rightarrow 2) \cos \beta + Y(3 \rightarrow 2) \sin \beta & L(3 \rightarrow 2) \cos \beta + M(3 \rightarrow 2) \sin \beta \\ -X(3 \rightarrow 2) \sin \beta + Y(3 \rightarrow 2) \cos \beta & -L(3 \rightarrow 2) \sin \beta + M(3 \rightarrow 2) \cos \beta \\ Z(3 \rightarrow 2) & 0 \end{array} \right) \\ c \end{matrix} \quad (\vec{x}_3, \vec{y}_3, \vec{z}_3) \quad (\text{III.72})$$

❖ Torseur statique $\{\tau_s(e \rightarrow 3)\}$

C'est le torseur des forces extérieures applicables sur la pièce d'extrémité 3. ce torseur est, a priori, quelconque. nous l'écrivons en C et dans $B_3(\vec{x}_3, \vec{y}_3, \vec{z}_3)$

$$\{\tau_s(e \rightarrow 3)\} = \begin{matrix} \left(\begin{array}{cc} X(e \rightarrow 3) & L(e \rightarrow 3) \\ Y(e \rightarrow 3) & M(e \rightarrow 3) \\ Z(e \rightarrow 3) & N(e \rightarrow 3) \end{array} \right) \\ c \end{matrix} \quad (\vec{x}_3, \vec{y}_3, \vec{z}_3) \quad (\text{III.73})$$

La relation (III.43) ci-dessus entraîne l'écriture de $6n = 18$ équation algébrique. Ecrivons seulement l'équation non principal possédant un premier membre nul. Notons que seule la composante sur \vec{z}_3 de $\vec{M}_C(3 \rightarrow 2)$ est nulle, ce qui entraîne les trois équations non principales suivantes :

$$\text{➤ } (0.5 + 0.8)X(1 \rightarrow 0) \cos \alpha + (0.5 + 0.8)Y(1 \rightarrow 0) \sin \alpha = 0 \quad (\text{III.74})$$

$$\text{➤ } N(2 \rightarrow 1) + 0.8 X(2 \rightarrow 1) = 0 \quad (\text{III.75})$$

$$\text{➤ } N(e \rightarrow 3) = 0 \quad (\text{III.76})$$

❖ Expression du Torseur des forces extérieures sur 3

$$\{\tau_s(e \rightarrow 3)\} = \begin{matrix} \left(\begin{array}{cc} X(e \rightarrow 3) & L(e \rightarrow 3) \\ Y(e \rightarrow 3) & M(e \rightarrow 3) \\ Z(e \rightarrow 3) & 0 \end{array} \right) \\ c \end{matrix} \quad (\vec{x}_3, \vec{y}_3, \vec{z}_3) \quad (\text{III.77})$$

L'expression (III.77) représente au point C les composantes du torseur des forces extérieures que pourrait supporter le robot sur la pince 3. à partir de ces valeurs numériques et des équations algébriques issues de (III.43) on pourra dimensionner les différentes liaisons.

Conclusion Générale

Conclusion générale

Le problème de manipulation d'objets est l'un des sujets de recherche qui passionnent depuis longtemps les chercheurs en robotique. Les robots assurant cette tâche s'appellent les robots manipulateurs. On les retrouve dans les chaînes de production dans l'industrie d'automobile et l'industrie électronique ou dans les milieux hostiles ; les milieux à haute pression (milieux sous-marin), basse pression (l'exploration spatiale), hautes températures, fortes radiations, ...etc.

Le travail que nous avons présenté dans ce mémoire porte sur la modélisation géométrique des robots industriels et plus spécifiquement la modélisation des robots manipulateurs à chaîne continue ouverte à 3 ddl, ainsi que la détermination de l'espace de travail. On a 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. Pour pouvoir valider les résultats obtenus avec ceux de constructeur, nous avons développé un programme sous le logiciel Matlab.

L'étude statique et cinématique nous a également aidé à exprimer les composantes des torseurs d'action mécanique transmissible sur les liaisons du robot et le torseur d'action extérieure qui s'exerce sur la pièce d'extrémité (organe terminale) et de définir le mouvement général de l'organe terminal en fonction des mouvements élémentaires.

L'étude statique et cinématique nous a également aidé à exprimer les composantes des torseurs d'action mécanique transmissible sur la liaison de robot et le torseur d'action extérieure qui s'exerce sur la pièce d'extrémité et de définir le mouvement générale en fonction de mouvement élémentaires.

Perspectives

Il est recommandé pour suivre ce travail de faire une étude détaillée sur la modélisation cinématique et dynamiques en tenant compte des caractéristiques dynamiques et cinématiques, les erreurs statiques et dynamiques ainsi que la précision.

Annexe

Annexe


$$\{\tau_s(1/0)\}_c = \begin{pmatrix} X(1 \rightarrow 0) \cos(\alpha + \beta) + Y(1 \rightarrow 0) \sin(\alpha + \beta) & L(1 \rightarrow 0) \cos(\alpha + \beta) + M(1 \rightarrow 0) \sin(\alpha + \beta) - (0.5 + 0.8)Z(1 \rightarrow 0) \cos \beta \\ -X(1 \rightarrow 0) \sin(\alpha + \beta) + Y(1 \rightarrow 0) \cos(\alpha + \beta) & -L(1 \rightarrow 0) \sin(\alpha + \beta) + M(1 \rightarrow 0) \cos(\alpha + \beta) + (0.5 + 0.8)Z(1 \rightarrow 0) \sin \beta \\ Z(1 \rightarrow 0) & (0.5 + 0.8)X(1 \rightarrow 0) \cos \alpha + (0.5 + 0.8)Y(1 \rightarrow 0) \sin \alpha \end{pmatrix}_{(\vec{x}_0, \vec{y}_0, \vec{z}_0)} \quad (3.36)$$

$$\tau_s(2/1)_o = \begin{pmatrix} X(2 \rightarrow 1) \cos \beta & L(2 \rightarrow 1) \cos \beta - 0.8 Z(2 \rightarrow 1) \cos \beta + M(2 \rightarrow 1) \sin \beta \\ -X(2 \rightarrow 1) \sin \beta & -L(2 \rightarrow 1) \sin \beta + 0.8 Z(2 \rightarrow 1) \sin \beta + M(2 \rightarrow 1) \cos \beta \\ Z(2 \rightarrow 1) & N(2 \rightarrow 1) + 0.8 X(2 \rightarrow 1) \end{pmatrix}_{(\vec{x}_3, \vec{y}_3, \vec{z}_3)} \quad (3.67)$$

$$\tau_s(3/2)_c = \begin{pmatrix} X(3 \rightarrow 2) \cos \beta + Y(3 \rightarrow 2) \sin \beta & L(3 \rightarrow 2) \cos \beta + M(3 \rightarrow 2) \sin \beta \\ -X(3 \rightarrow 2) \sin \beta + Y(3 \rightarrow 2) \cos \beta & -L(3 \rightarrow 2) \sin \beta + M(3 \rightarrow 2) \cos \beta \\ Z(3 \rightarrow 2) & 0 \end{pmatrix}_{(\vec{x}_2, \vec{y}_2, \vec{z}_2)} \quad (3.72)$$

Bibliographies

- [1] Almusawi, Ahmed RJ, L. CananDülger, and SadettinKapucu. "Robotic arm dynamic and simulation with Virtual Reality Model (VRM)." 2016 International Conference on Control, Decision and Information Technologies (CoDIT). IEEE, 2016.
- [2] Dictionnaire Reverso, 2010, Edition en ligne
- [3] Dictionnaire Larousse, 2008, Edition en ligne.
- [4] Eyraud, Charles-Henri. Horloges astronomiques au tournant du XVIIIe siècle: de l'à-peu-près à la précision. Diss. Lyon 2, 2004.
- [5] Official website IFR INTERNATIONAL FEDERATION OF ROBOTICS.
- [6] Bostelman, Roger, Tsai Hong, and Jeremy Marvel. "Performance measurement of mobile manipulators." Multisensor, Multisource Information Fusion: Architectures, Algorithms, and Applications 2015. Vol. 9498. International Society for Optics and Photonics, 2015.
- [7] ISO (International Standard Organization), 1947
- [8] LAURENT Guillaume, CHAILLET Nicolas « Robotique industrielle » Cours, Université de Bourgogne Franche-Comté, 2017.
- [9] BOIMOND, Jean-Louis. « ROBOTIQUE » Court, ISTIA, Université Angers, 2017
- [10] BOUKLI HACENE Lotfi Fazil « Commande et supervision d'un ensemble de robots via internet », Mémoire en vue de l'obtention de Magister, Université Des Sciences Et De La Technologie D'Oran, 26 avril 2012.
- [11] BAHLOUL Abdelkrim « Sur la commande des robots manipulateurs industriels en comanipulation robotique », Thèse de Doctorat, Université Paris-Saclay, 7 décembre 2018.
- [12] E BARS Fabrice « Analyse par intervalles pour la localisation et la cartographie simultanées ; Application à la robotique sous-marine », Thèse de Doctorat, UNIVERSITÉ DE BRETAGNE OCCIDENTALE, 23 novembre 2011.
- [13] FATOUX Julien « Mise en œuvre d'un robot humanoïde et contribution à la génération de marches dynamiques optimales », Thèse de Doctorat, UNIVERSITE DE POITIERS, 7 août 2006.
- [14] ASHIDIFAR, Mohammad Amin, RASHIDIFAR, Ali Amin, et AHMADI, Darvish. « Modeling and Control of 5DOF Robot Arm Using Fuzzy Logic Supervisory Control », Article, vol. 2, no 2, 2089-4856, Janvier 2013, International Journal of Robotics and Automation (IJRA).
- [15] CRAIG, John J. « Introduction to robotics: mechanics and control », Pearson Education International, Livre, 2009.
- [16] EL-HUSSIENY Haitham « Robotics Engineering », Cours, Benha University, 2017
- [17] GANGLOFF Jacques « Cours de Robotique », Cours, ENSPS 3A Master ISTI, 2018.
- [18] ANGELES Jorge « Fundamentals of robotic mechanical systems », Springer, Livre, 2002.
- [19] 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
- [20] D, Jacques; H, Richard Scheunemann . "Ukane notation cinématique des mécanismes basés sur des matrices inférieure paires". Trans ASME J. Appl. Mech 23: 215-221. (1955)
- [21] B.Abderrahime, cours de robotique,université kasdimerbeh, 2015
- [22] Coure modélisation des robots industriels,université Badj mokhtar annba,
- [23] Pierreagat.marc rossetto,liasson et mécanismes, cours,exercice et applications



industrielles avec MECA3D sous SOLIDWORKS et MECA mestre, 2^e Edition, Dund, paris ;2001

- [24] 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.
- [25] W.KHALIL et E.DOMBRE, bases de la modélisation et de la commande des robots-manipulateur de type série ; 1999
- [26] W.KHALIL, et E.DOMBRE, modélisation, identification et commande de robots, Édition Hermès, Paris, ISBN 2-7462-0003 ,1999