

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieure et de la
Recherche Scientifique



Université Echahid Hamma Lakhdar d'El-Oued

FACULTE DE TECHNOLOGIE

DEPARTEMENT DE GENIE MECANIQUE

Mémoire de fin d'étude

Présenté pour l'obtention du diplôme de

MASTER ACADEMIQUE

Domaine : Sciences et Technologies

Filière : Electromécanique

Spécialité : Electromécanique

Thème

**Conception et Optimisation d'un robot hybride
avec 3'DOF**

Réalisé par :

- AMIAR bachir
- DEHDA Rabie
- GHARBI Hani
- MENNAI Mohamed Bachir

Encadré par :

Dr. MANSOURI Khaled

Année Universitaire 2021/2022



﴿ رَبَّنَا لَا تُؤَاخِذْنَا إِنْ نَسِينَا أَوْ أَخْطَأْنَا رَبَّنَا وَلَا تَحْمِلْ عَلَيْنَا إَصْرًا كَمَا حَمَلْتَهُ
عَلَى الَّذِينَ مِنْ قَبْلِنَا رَبَّنَا وَلَا تُحَمِّلْنَا مَا لَا طَاقَةَ لَنَا بِهِ وَاعْفُ عَنَّا وَاعْفِرْ لَنَا
وَارْحَمْنَا أَنْتَ مَوْلَانَا فَانصُرْنَا عَلَى الْقَوْمِ الْكَافِرِينَ ﴾ سورة البقرة : الآية 286 .

" صدق الله العظيم "



Remerciements

Tout d'abord, je remercie dieu -ALLAH- de tout puissant de m'avoir donné le courage et la patience durant toutes ces années d'études.

Je tiens à exprimer toute ma gratitude et mes sincères remerciements à Monsieur
Dr : MANSOURI Khaled, Docteur à L'Université Echahid Hamma Lakhdar d'El Oued
, pour avoir dirigé ce travail.

Mes sincères remerciements aux messieurs les membres du jury pour l'honneur qu'ils me font en participant au jugement de ce travail.

Nous tenons à remercier vivement toutes personnes qui nous ont aidé à élaborer et réaliser ce mémoire, ainsi à tous ceux qui nous aidés de près ou de loin à accomplir ce travail.

En fin je remercie tout particulièrement mes parents, pour leur soutien inconditionnel tout au long de ces longues années d'études.





Dédicaces

Je dédie ce modeste travail :

À mes très chers parents qui m'ont soutenu durant toute la durée de mes études.

À mes très chères sœurs et à ma grande famille.

À tous mes amis.

À tous ceux qui m'aiment et que j'aime

À vous.



الملخص
résumé
Abstract

Résumé

Cette mémoire se concentre sur l'optimisation de la conception d'un robot hybrides trois degrés de liberté (3DDL). Ce travail comprend l'étude géométrique et cinématique du robot choisi, et cette étape est importante étant donné que les normes de performance pour une structure particulière dépendent fortement des dimensions de cette structure, puis nous sommes intéressés à étudier le problème de l'optimisation de l'espace de travail de la structure choisie à l'aide de l'algorithme génétique (GA), qui a montré son succès dans ce domaine en termes qui sont jusqu'à présent généralement le type d'algorithme évolutif le meilleur et le plus robuste. Une GA présente de nombreux avantages. Il peut analyser rapidement un vaste ensemble de solutions.

Nous avons conclu le travail en simulant le robot et les conditions précédemment fixées avant de démarrer les expériences d'optimisation, en utilisant le logiciel Matlab.

Mots clés : Robot hybrides, Robot de 3 ddl, Modèle géométrique et cinématique.

Abstract

This memory focuses on optimization the conception (design) of a hybrid robot with three degrees of freedom (3 DOF). This work includes the geometric and kinematic study of the chosen robot, and this step is important given that the performance standards for a particular structure depend heavily on the dimensions of this structure, and then we were interested in studying the problem of optimizing the workspace of the selected structure with the help of the genetic algorithm (GA)• which showed its success in this field in terms that are so far generally the best and most robust kind of evolutionary algorithms. A GA has a number of advantages. It can quickly scan a vast solution set.

We concluded the work by simulating the robot and the conditions that were previously set before starting the optimization experiments, by using Matlab software.

Keywords: hybrid Robot, Robot with 3 DOF, Geometric and Kinematic Model.

الملخص

تركز هذه المذكرة على تحسين تصميم روبوت هجين بثلاث درجات من الحرية (3DOF) ، يشمل هذا العمل الدراسة الهندسية والحركية للروبوت المختار، وهذه الخطوة مهمة بالنظر إلى أن معايير الأداء لهيكل معين تعتمد بشكل كبير على أبعاد هذه البنية، ومن ثم اهتمنا بدراسة مشكلة تحسين مساحة عمل الهيكل المختار بمساعدة الخوارزمية الجينية (GA) ، والتي أظهرت نجاحها في هذا المجال من حيث انها حتى الآن أفضل أنواع الخوارزميات التطورية وأكثرها قوة. تمتلك GA عدداً من المزايا، يمكنه مسح مجموعة حلول واسعة النطاق بسرعة.

اختتمنا العمل بمحاكاة الروبوت والظروف التي تم ضبطها مسبقاً قبل بدء تجارب التحسين، باستخدام

برنامج Matlab.

الكلمات المفتاحية: روبوت هجين ، روبوت مع 3 درجة من الحرية، نموذج هندسي وحركي.

A decorative orange scroll graphic with a light orange gradient fill and a darker orange border. The scroll is partially unrolled, with the top and bottom edges showing a darker orange band. The word "Sommaire" is centered on the scroll in a bold, black, serif font.

Sommaire

Remerciement

Dédicace

Table des matières

Liste des figures

Liste des tableaux

Introduction générale

a

CHAPITRE I : Etat de l’art des machines à structure Hybride	
I.1.Introduction	3
I.2. Types de robots industriels existants et définitions	4
I .2.1. Les robots industriels d’architecture sérielle	4
I.2.2. Avantages des robots série	5
I.2.3. Inconvénients des robots série	5
I.2.4. Les Robots parallèles	6
I.2.4.1. Définitions	6
I.2.4.2. Historique	7
I.2.4.3. Avantages	9
I.2.4.4. Inconvénients	10
I.2.5.Récapitulatif	11
I.3.Conclusion	11
CHAPITRE II: Étude & modélisation des robots hybrides	
II.1.Introduction	13
II.2.Les robots’ hybrids	13
II.2.1.Commande hybride	14
II.2.2.Principe et objectif	15
II.2.3.Exemples de robots hybrides	15
II.2.3.1.Porteur parallèle – poignet série	15
II.2.3.2.Prenursery – poignant parallel	15
II.3.3.3.Le robot hybride Dumbo	16
II.2.4.Application du robot hybride	17
II.3.Description de la structure et du mécanisme	17
II.4.Modélisation géométrique	18
II.5.Etude cinématique	19
II.5.1.Analyse de position	19
II.6.Analyse de singularité	21

II.7.Espace de travail	23
II.8.Optimisation de l'espace de travail	24
II.9.Conclusion	24
CHAPITRE III : Optimisation du planaire manipulateurs hybride avec 3'DOF	
III.1. Introduction	26
III 1.1. Évaluation de l'espace de travail	26
III.2.Processus d'optimisation	27
III.2.1.Fonction objectif	27
III.2.2.Variables de conception	27
III.2.3.Contraintes	27
III.2.4.Limites variables	28
III.2.5. Méthode d'optimisation (Un algorithme génétique (GA))	29
III.2.5.1. Méthodologie de l'algorithme génétique	29
III.3. Étude de cas : Optimisation de la conception mono-objective d'un manipulateur hybride avec 3'DOF	31
III.3.1.Fonction objectif	32
III.3.2.Variables de conception	32
III.4. Conclusion	36
Conclusion générale	38

Bibliographique

An orange scroll graphic with a light orange background and a darker orange border. The scroll is unrolled, with the top and bottom edges showing a slight curve. The text is centered on the scroll.

LISTE DES FIGURES

LISTE DES FIGURES

Page

<i>CHAPITRE I : Etat de l'art des machines à structure Hybride</i>		
<i>Figure 1</i>	Indices des prix des robots industriels en France (avec et sans ajustement de la qualité) comparé à l'indice des salaires (indices basés sur la conversion du \$ de 1990) – Source: Nations Unies, IFR.	3
<i>Figure 2</i>	Exemple de robot série : Robot IRB 6600ID (ABB).	4
<i>Figure 3</i>	Schéma d'un manipulateur à structure sérielle	4
<i>Figure 4</i>	Architectures des déferant type des robots	6
<i>Figure 5</i>	Premier robot parallèle sphérique, breveté en 1931 (Brevet US No. 1,789,680)	7
<i>Figure 6</i>	Premier robot parallèle spatial industriel, breveté en 1942 (Brevet US No.2, 286,571)	8
<i>Figure 7</i>	La plate-forme de Gough et son agencement.	9
<i>Figure 8</i>	Robot Delta à 3 ddl en translation	9
<i>CHAPITRE II : Étude & modélisation des robots hybrides</i>		
<i>Figure 1</i>	(A/B) les robots Hybrides	14
<i>Figure 2</i>	(A/B) Triceps 845 (Neos Robotics)	15
<i>Figure 3</i>	(A/B) Sprint Z3	16
<i>Figure 4</i>	Dumbo (IFW)	16
<i>Figure 5</i>	Modèle CAO de la machine	18
<i>Figure 6</i>	Configurations singulières	22
<i>Figure 7</i>	Espace de travail du manipulateur	23
<i>CHAPITRE III : Optimisation du planaire manipulateurs hybride avec 3'DOF</i>		
<i>Figure 1</i>	Le schéma général de représentation binaire et d'évaluation de l'espace de travail du robot.	26
<i>Figure 2</i>	Représentation schématique des algorithmes génétiques (AG).	31
<i>Figure 3</i>	Evolution de la fonction objectif au cours des itérations	34
<i>Figure 4</i>	Individus optimaux	34
<i>Figure 5</i>	Conditionnement de la matrice Jacobienne inverse en fonction de L(R=250 ,r=50)	35
<i>Figure 6</i>	Distribution du numéro de condition dans l'espace de travail lorsque L est spécifié.	35

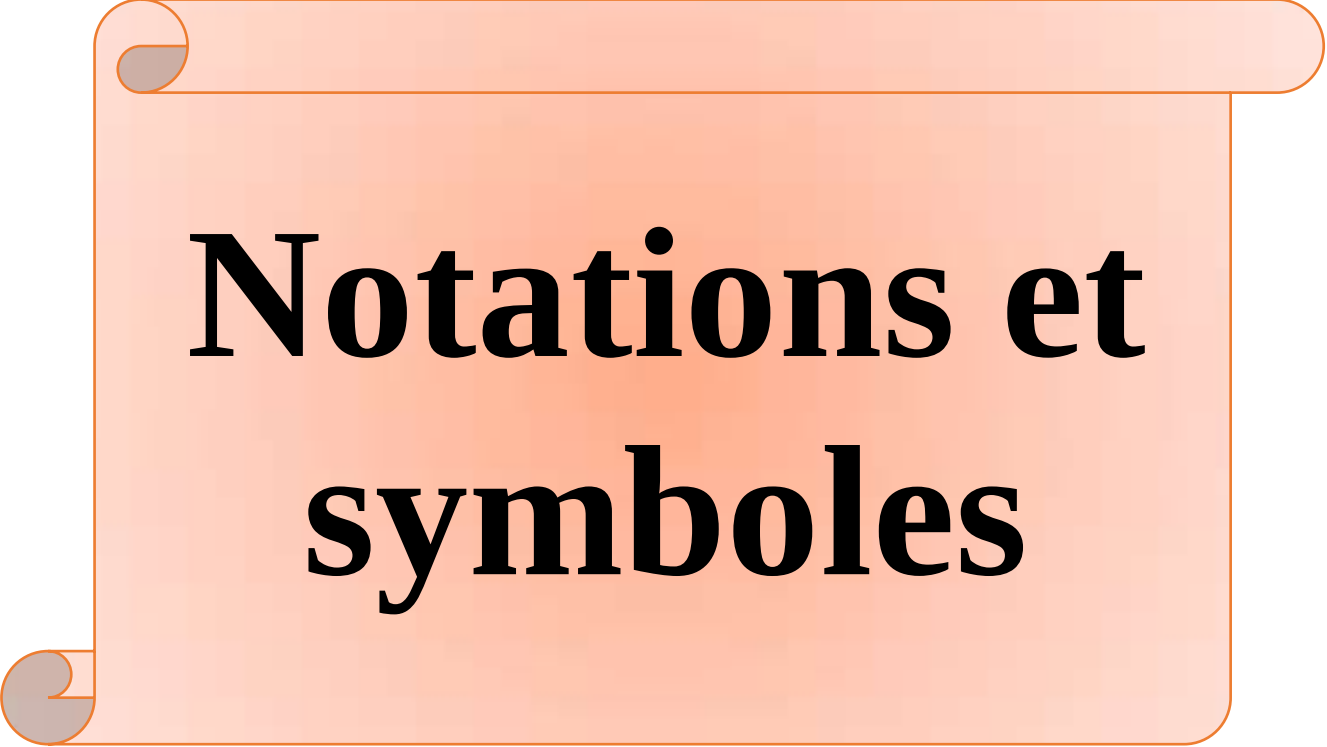
An orange scroll graphic with a light orange background and a darker orange border. The scroll is unrolled, with the top and bottom edges showing a slight curve. The text is centered on the scroll.

Liste des Tableaux

LISTE DES TABLEAUX

Page

<i>CHAPITRE I : Etat de l'art des machines à structure Hybride</i>		
<i>Tableau 1</i>	Tableau comparatif entre robot série et robot parallèle	11
<i>CHAPITRE III : Optimisation du planaire manipulateurs hybride avec 3'DOF</i>		
<i>Tableau 1</i>	Paramètres des algorithmes génétiques	33
<i>Tableau 2</i>	Solution optimale obtenue	36

An orange scroll graphic with a light orange gradient and a darker orange border. It has a rolled-up top edge and a small circular detail on the left side.

Notations et symboles

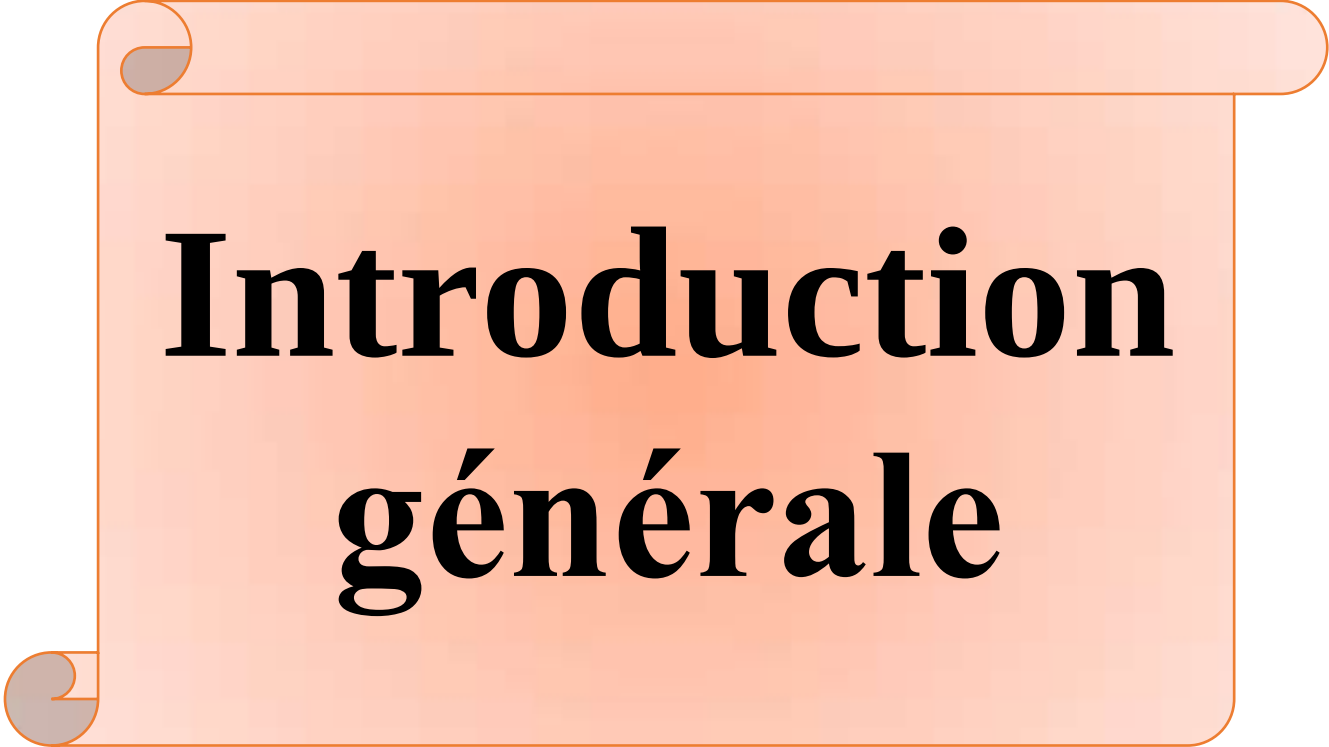
Liste des symboles

Notations:

O	cadre de référence fixe (cadre de base).
O'	cadre mobile (attaché à la nacelle).
l	Longueur de la liaison [mm].
R	Rayon extérieur du robot [mm].
r	Rayon de la nacelle [mm].
q	Coordonnées conjointes (coordonnées des actionnaires) [m].
$\dot{q}$	Vitesse linéaire des actionnaires [mm / s].
x	Coordonnées centrales de la nacelle [mm].
$\dot{x}$	Point de nacelle centrale [mm /s]
J	La matrice jacobienne.
I	Vecteur unitaire.
κ	Conditionnement de la matrice jacobienne.
$\bar{\eta}$	Numéro de condition global.

Abbreviations :

PKM	Manipulateurs cinématiques parallèles.
AG	Algorithme génétique.
DOF	Dégré de la liberté

An orange scroll graphic with a light orange background and a darker orange border. The scroll is unrolled, with the top and bottom edges showing a slight shadow. The text is centered on the scroll.

Introduction générale

INTRODUCTION GÉNÉRALE

Pour certaines applications industrielles, les manipulateurs à cinématique sérielle et parallèle ne semblent plus être les mieux adaptés. En effet, ce type d'architecture implique que chaque axe motorisé supporte le suivant. Les performances dynamiques se trouvent dégradées à cause de la cumulation des masses en mouvements et le volume de travail très faible.

C'est pour cette raison que les manipulateurs à cinématique hybride sont aujourd'hui de plus utilisés. La qualité élevée de leurs performances dynamiques ainsi que leurs aptitudes à supporter des charges importantes sont avantageusement mises à profit dans le monde industriel. Dans un premier temps, Ils ont été utilisés comme simulateur de vol et comme robot de manutention ayant des cadences élevées. Actuellement, le monde de l'UGV, ainsi que le milieu médical, leur ouvrent les portes pour des applications de plus en plus précises. Or, c'est en termes de précision, que les manipulateurs à cinématique parallèle n'ont toujours pas montré leur supériorité sur leurs homologues à cinématique sérielle.

Ce travail porte sur la conception optimale d'un robot hybride a trois degrés de liberté, suivi par une réalisation avec une étude géométrique et cinématique de ce système.

Ce manuscrit est divisé en 3 parties. Après un état de l'art des architectures existantes pour les applications industrielles, avec une présentation de robot hybride que nous choisissons à réaliser dans ce travail. Dans le Chapitre 2, est dédié à la modélisation géométrique, cinématique, et dynamique du robot considéré. Nous choisissons les architectures (sérielle – parallèle) candidates. Parmi ces architectures, nous prenons le robot hybride afin de concevoir une machine trois axes, c'est-à- dire qui possède uniquement trois translations de la plateforme mobile.

Enfin, le Chapitre 3 traite du problème de la conception optimale des robots hybride en prenant en considération les performances cinématiques comme critères de performances le problème d'optimisation sera formulé afin de trouver les dimensions optimales du robot étudié et une résolution par la méthode de l'algorithme génétique implanté en Matlab., nous sommes arrivés à une étude pratique. pour extraire les résultats nécessaires.

Chapitre I

**Etat de l'art des machines à
structure Hybride**

Dans ce chapitre, nous commençons tout d'abord en énonçant par présenter les robots (sérielle –parallèle) quelques définitions et nous donnons une liste non exhaustive des différentes architectures qu'on trouve dans la littérature. Nous introduisons des notions nécessaires pour l'analyse et la manipulation des robots (sérielle – parallèle) HYBRIDE.

I.1.Introduction:

Les robots industriels ont d'abord été massivement utilisés dans le secteur de l'automobile pour les applications de ferrage et d'assemblage. Ces applications utilisent des robots de type anthropomorphe à six degrés de liberté. Rapidement cependant, la robotique s'est élargie à d'autres secteurs et en particulier aux industries utilisant des tâches répétitives de prise-dépose d'objets, autrement appelées "pick-and place."

Ce segment est en perpétuelle évolution et connaît une croissance annuelle de l'ordre de 15 à 20%. Cette augmentation s'explique en partie par le couple "augmentation du coût de la main d'œuvre / réduction des coûts de fabrication des robots". En effet, entre 1990 et 2004, le prix des robots a chuté d'une façon très significative. A titre d'exemple, la Figure I.1 représente l'évolution des prix des robots en se basant sur un indice de prix égal à 100 en 1990. Cette valeur 100 représente le coût d'achat moyen en 1990, ainsi que le salaire moyen en France pour cette même année. Il est également intéressant de noter que la qualité des robots s'est améliorée au cours de ces années, ce qui a pour effet de dévaluer d'autant l'indice de prix (courbe "prix des robots avec ajustement de qualité").

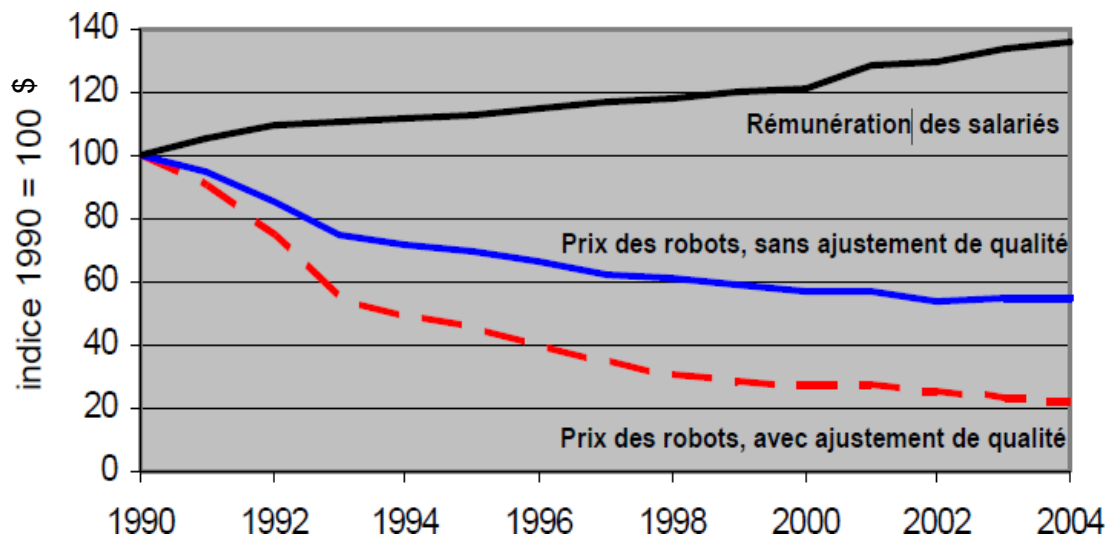


Figure I.1 : Indices des prix des robots industriels en France (avec et sans ajustement de la qualité) comparé à l'indice des salaires (indices basés sur la conversion du \$ de 1990) –

Source: Nations Unies, IFR.

I.2. Types de robots industriels existants et définitions

I.2.1. Les robots industriels d'architecture sériele

Selon l'Association Française de Normalisation (AFNOR) "un robot industriel est un manipulateur automatique, asservi en position, reprogrammable, polyvalent, capable de positionner et d'orienter des matériaux, pièces, outils ou dispositifs spécialisés au cours de mouvements variables et programmés pour l'exécution de tâches variées". (NF E 61100). Un robot manipulateur d'architecture sériele (Figure I.2) est constitué d'une série n segments qui sont reliés par un joint assurant une rotation ou une translation relative entre segments. [4]



Figure I.2 : Exemple de robot série : Robot IRB 6600ID (ABB).

La Figure I.3 illustre la structure d'un robot manipulateur sériele composé de $n+1$ corps, notés $C_0, \dots, C_{i-1}, C_j, C_{j+1}, \dots, C_n$ et de n articulations. Le paramétrage de Denavit-Hartenberg modifié peut-être utilisé pour paramétrer ce type d'architecture [2].

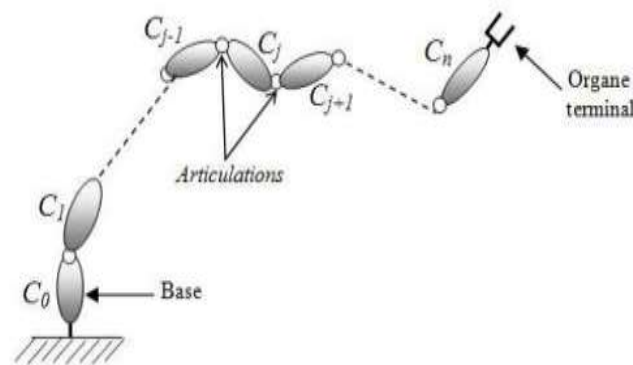


Figure I.3 : Schéma d'un manipulateur à structure sériele.

I.2.2. Avantages des robots série

Les robots série constituent la majorité des robots installés dans l'industrie. Leur architecture mécanique est inspirée du bras humain. Ils ne sont pas nécessairement appropriés à toutes les tâches, du fait de ce caractère anthropomorphe. Un robot série est constitué d'une chaîne cinématique ouverte. Il s'agit d'une succession de segments reliés entre eux par des liaisons à un degré de liberté en rotation ou en translation ; chaque articulation est commandée par un actionneur situé à l'articulation ou sur l'un des segments précédents. Parmi les avantages que les robots série présentent, on peut citer [1] :

- Grand volume de travail.
- Simplicité de la synthèse des lois de commande.

I.2.3. Inconvénients des robots série

Les principaux défauts des robots série sont les suivants [1] :

- Une inertie élevée due aux masses réparties sur toute la chaîne cinématique (actionneurs et organes de transmission), peut engendrer des erreurs de positionnement, des vibrations et surtout limiter la rapidité.
- Précision médiocre, ceci est dû à l'accumulation d'erreurs le long de la chaîne cinématique.
- Faible rapport (charge transportable / masse totale du robot) qui n'est jamais supérieur à 0,3 dans le meilleur des cas.
- Manque de rigidité due à la mise en série d'éléments de la chaîne cinématique. Le fait que les éléments soient disposés en série, implique que chaque segment doit supporter la charge, mais aussi la masse des segments suivants, ce qui provoque la flexion.
- Une fatigue et une usure des liaisons de puissance assurant l'alimentation des actionneurs peuvent engendrer des pannes plus fréquentes.
- Une fatigue et une usure des liaisons assurant la circulation des informations entre les capteurs et la commande a des conséquences importantes sur la sécurité car une erreur de transmission peut engendrer des mouvements désastreux du robot.
- Les erreurs de conception mécanique et l'imprécision des capteurs s'accumulent et contribuent à diminuer la précision de l'organe terminal. De plus, il devient

difficile de commander ces robots à des vitesses élevées car certaines forces perturbatrices (inertie, Coriolis et centrifuge) prennent de l'ampleur.

I.2.4. Les Robots parallèles

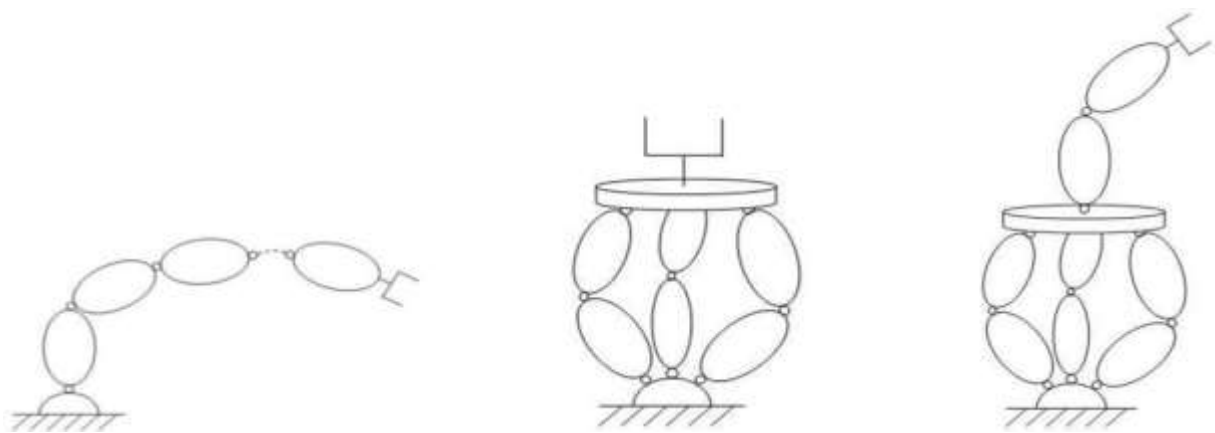
I.2.4.1. Définitions

Un manipulateur parallèle généralisé est un mécanisme en chaîne cinématique fermée dont l'organe terminal est relié à la base par plusieurs chaînes cinématiques indépendantes.

Cette définition générale d'un manipulateur parallèle permet de le distinguer d'un manipulateur sériel qui est composé d'une seule chaîne cinématique entre la base et l'organe terminal. L'association de ces deux types de structures permet de construire des structures dites hybrides (Figure I.4).

L'organe terminal fait référence à l'interface permettant au manipulateur d'interagir avec son environnement (pince, outil, torche à souder...).

Pour les robots parallèles, l'élément du robot sur lequel est fixé l'organe terminal est généralement appelé plate-forme mobile ou nacelle. C'est ce dernier terme qui sera utilisé dans la suite de ce manuscrit.



(a) Architecture sérielle.

(b) Architecture parallèle.

(c) Architecture hybride.

Figure I.4 : Architectures des déferant type des robots.

La pose de l'organe terminal désigne sa situation (position et orientation) dans l'espace.

Elle est décrite par les coordonnées généralisées :

- x, y, z pour la position.

- ψ , θ , ϕ pour l'orientation. Ces angles peuvent être définis de plusieurs façon différentes suivant la convention utilisée : angles d'Euler, angles de Bryant (également appelés angles de Roulis-Tangage-Lacet), etc.

Les variables opérationnelles désignent les coordonnées généralisées de l'organe terminal contrôlables avec le manipulateur.

I.2.4.2. Historique

L'historique des robots parallèles est controversé. Cependant, grâce aux travaux de Merlet et de Bonev, il existe une chronologie assez précise de l'apparition des robots parallèles. Tout d'abord, Merlet indique que la théorie sur les mécanismes parallèles a été explorée bien avant l'apparition du terme robot. Certains problèmes théoriques concernant les robots parallèles ont donc été résolus bien avant leur apparition. Ensuite, Bonev rappelle que le premier brevet déposé pour un mécanisme parallèle porte sur un mécanisme sphérique destiné à être utilisé comme plate- forme de cinéma dynamique en 1928 (Figure I.5). Trop en avance sur son temps, cette machine n'a jamais été construite. Quelques dizaines d'années plus tard, Williard L.V. Pollard conçoit ce qui est considéré comme le premier robot parallèle industriel. Son fils fait breveter cette invention qui n'a, elle non plus, jamais été produite (Figure I.6). Finalement, le premier robot parallèle industriel à voir le jour est l'hexapode en forme d'octaèdre inventé par Eric Gough, également appelé plate-forme de Gough. [6].

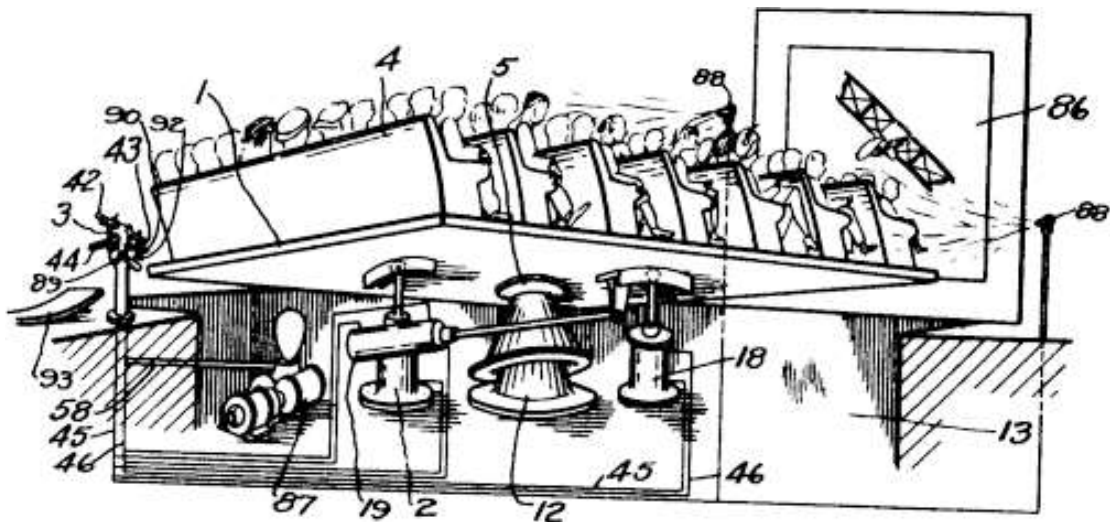


Figure I.5 : Premier robot parallèle sphérique, breveté en 1931 (Brevet US No. 1,789,680) [5].

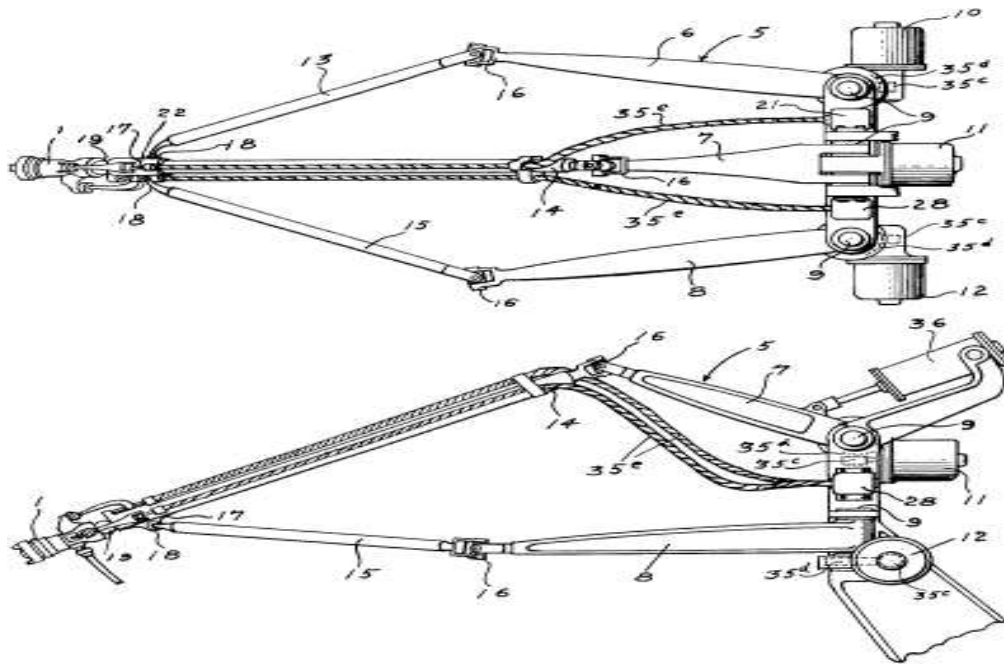
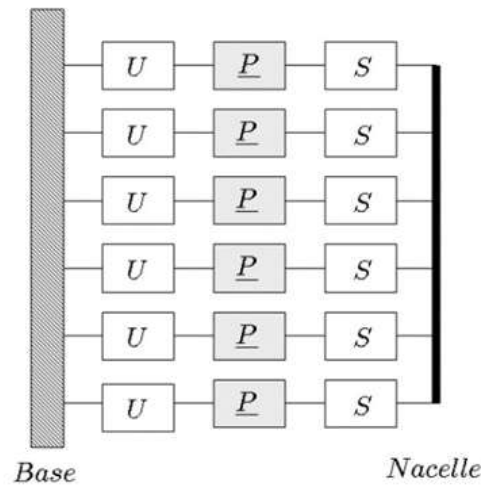
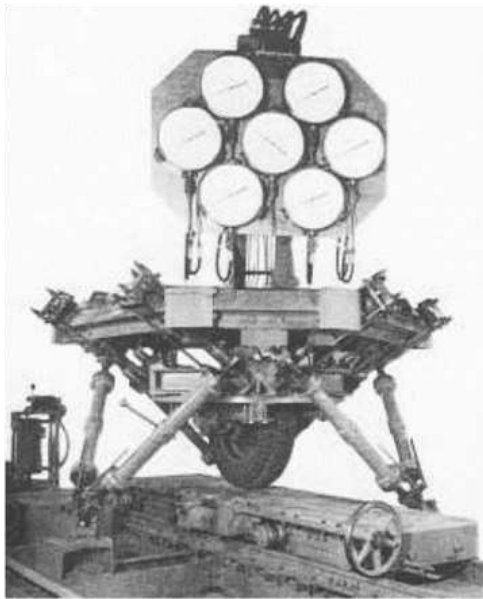


Figure I.6 : Premier robot parallèle spatial industriel, breveté en 1942 (Brevet US No.2, 286,571)

Cet hexapode a été construit afin de tester des pneus pour la société Dunlop et le premier exemplaire a été produit en 1954 (Figure I.7 (a)). Pour beaucoup de chercheurs, l'invention de la plate-forme de Gough marque le début de l'ère des robots parallèles.

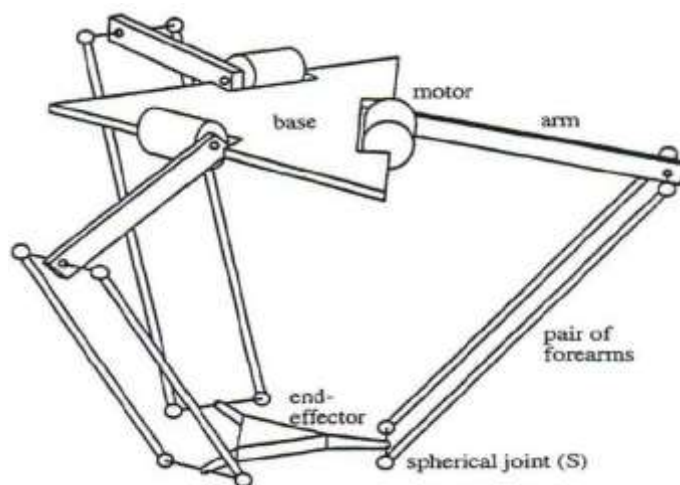
L'autre événement majeur de la robotique parallèle est l'invention du premier robot parallèle léger, le robot Delta, par le professeur Clavel dans les années 80 (Figure I.8). Ce robot, qui est à ce jour le robot parallèle le plus vendu dans le monde, marque l'arrivée des robots parallèles rapides destinés, entre autres, à des tâches de conditionnement. Le robot Par4, est un parfait exemple de l'engouement de l'industrie pour les robots parallèles rapides. En effet, une version commerciale du robot Par4, le robot Quattro développé par Adept, a récemment vu le jour et est actuellement le robot le plus rapide du marché (240 cycles par minute).

Il existe un grand nombre de cinématiques déférentes de robots parallèles et leurs applications possibles sont nombreuses : simulateur de vol, machine-outil, robot de prise et dépose, positionneur de haute précision, robot médical, capteurs d'effort, etc. Aujourd'hui encore, de nouveaux domaines s'ouvrent pour ces robots notamment grâce à la recherche sur les robots redondants les robots à câbles ou le robot ultra rapide.



(a) Prototypé original (Dunlop, Royaume-Uni).

(b) Graphe d'agencement.

Figure I.7: La plate-forme de Gough et son agencement.**Figure I.8 :** Robot Delta à 3 ddl en translation [13].

I.2.4.3. Avantages

Les principales qualités associées aux robots parallèles dans la littérature sont:

- Un rapport masse transportable / masse en mouvement du robot très supérieur à celui des robots série.
- Une bonne rigidité due aux chaînes cinématiques fermées.
- Une bonne dynamique car les masses en mouvement sont généralement faibles.

- Une meilleure précision que les robots sériels.

Si les trois premières qualités ont été démontrées sur la plupart des prototypes de robots parallèles, la quatrième semble beaucoup moins évidente. En effet, l'argument souvent évoqué est que les erreurs géométriques et les erreurs de contrôle sont moyennées sur les robots parallèles alors qu'elles s'accumulent sur un robot sériel. Or, Briot remarque qu'il n'existe aucune étude qui prouve que ce soit effectivement le cas.

Il propose donc d'étudier deux paires de robots à 2 ddl:

- Deux robots à actionneurs rotatifs : un robot parallèle et un sériel.
- Deux robots à actionneurs linéaires : un robot parallèle et un sériel.

Seule la sensibilité aux erreurs de position des actionneurs est étudiée, car elles sont la principale source d'erreur selon Merle [15]. Cette étude montre que les robots parallèles étudiés sont moins sensibles aux erreurs de position des actionneurs que les robots sériels. Ces résultats obtenus pour ces deux paires de robots ne sont pas généralisables à l'ensemble des robots parallèles. Cependant, ils apportent un élément de réponse puisqu'ils montrent que, dans certains cas, il est possible d'obtenir des robots parallèles intrinsèquement plus précis que des robots sériels.

I.2.4.4. Inconvénients

Les principaux défauts des robots parallèles sont:

- Un Modèle Géométrique Direct (MGD) souvent complexe.
- Un volume de travail faible par rapport à l'encombrement de la machine.
- Des amplitudes en orientation souvent limitées à cause des singularités et des collisions internes.
- Un très grand nombre de topologies possibles.

L'atténuation de ces défauts a fait l'objet de nombreuses recherches. La redondance, par exemple, a été utilisée afin de faciliter la résolution du MGD, mais aussi pour obtenir de plus grandes orientations. Les travaux de thèse de Krut portaient essentiellement sur les problèmes de faibles débattements angulaires des robots parallèles. Il apporte un certain nombre de solutions originales comme par exemple le dispositif Tique . Les robots à nacelle articulée (H4, I4, Par4) développés au LIRMM répondent également en partie à ce problème d'orientation.

Il existe également de nombreux travaux portant sur l'optimisation des dimensions des robots parallèles avec comme objectif de maximiser le rapport volume de travail / encombrement de la machine.

I.2.5.Récapitulatif

Les avantages et les inconvénients des robots série et parallèles sont illustrés dans le tableau I.1 :

Tableau I.1 : *Tableau comparatif entre robot série et robot parallèle*

Critères de comparaison	Robots série	Robots parallèles
Charge transportable	Faible	Grande
Masse mobile (inertie)	Grande	Faible
Rigidité	Faible	Grande
Précision	Médiocre	Grande
Vitesse et Accélération	Médiocre	Très grandes
Ratio volume de travail/encombrement	Grande	Faible
Volume de travail	Grande	Faible
Singularité dans l'espace de travail	Rare	Présence de singularité
Obtention du modèle géométrique direct	Simple	Difficile
Obtention du modèle géométrique inverse	Difficile	Simple
Synthèse des lois de commande	Difficile	Difficile
Conception	Simple	Difficile

I.6.Conclusion

Ce chapitre a introduit les architectures de robots qui ont été étudiés durant nos travaux. Nous avons également rappelé les différentes définitions concernant la redondance en robotique et proposé des définitions pour les degrés de redondance d'actionnement, cinématique et métrologique. La présentation de quelques robots parallèles montre ensuite l'intérêt qu'il peut y avoir d'utiliser de telles géométries pour certaines applications. Ce chapitre aura également permis de définir le vocabulaire relatif aux capacités de positionnement des robots. Nous avons soumis un certain nombre de types liés à cette problématique. Parmi ces types introduits pour la conception et la réalisation de robots hybride, nous avons choisis robot delta linéaire que nous allons présenter dans les chapitres suivants.

CHAPITRE II

**Étude & modélisation des robots
hybrides**

II.1.Introduction

Ces dernières années, trois degrés de liberté ont été utilisés pour la rotation ou la translation pour une grande variété de tâches spécifiques. Ils sont utilisés comme poignets robotiques, comme têtes d'outils de fabrication et même comme articulations pour des robots inspirés par la vie.

Depuis quelques années, trois degrés de liberté sont utilisés pour la rotation ou la translation pour une grande variété de tâches spécifiques. Ils sont utilisés comme poignets robotiques, comme têtes d'outils de fabrication et même comme articulations pour des robots inspirés par la vie.

Le gadget a besoin de capacités de mobilité et de rotation suffisantes pour répondre à ces exigences de travail uniques. Par conséquent, il est nécessaire de choisir la structure et la géométrie avec la mobilité nécessaire de la plate-forme. En fait, le choix d'une combinaison appropriée particulière par rapport à de nombreux éléments est une question complexe.

Certaines de ces préoccupations incluent le mouvement et la séparation des axes, le potentiel de collision entre les connexions, ainsi que la présence d'exclusivité sur le lieu de travail. Les modèles analytiques cinétiques-mécaniques peuvent jouer un rôle majeur dans la résolution de tous ces problèmes, en plus de la mise en œuvre. Une approche très efficace du contrôle

La disposition des mouvements parallèles des articulations donne en fait plus de rigidité et moins de mouvement, réduisant ainsi les effets d'inertie. Les robots parallèles offrent de meilleures performances dynamiques, ce qui est intéressant pour les traitements à grande vitesse. Mais ce dernier met en lumière certains inconvénients de la cinématique séquentielle où les axes se soutiennent en série, notamment les articulations et les actionneurs de certaines machines-outils industrielles. C'est pourquoi nous discutons de certains points de la description d'ingénierie dans la robotique hybride. [22]

II.2.Les robots' hybrids

Nous avons vu que les manipulateurs à structure ouverte avec des corps montés en Série ont des avantages et des inconvénients, leur avantage l'espace de travail, les Inconvénients de ces systèmes sont relativement lents dans leur réponse et peuvent Manquer de rigidité. Pour les manipulateurs parallèles ont un espace de travail réduit mais leur rigidité, la grande vitesse

et la précision est plus importante. L'idée des structures hybrides série-parallèle c'est de combiner les avantages des deux structures parallèles et sérielles, la structure hybride consistant à disposer en série des modules de structure parallèle. Parmi les réalisations de ce genre de structures, on trouve le robot hybride de Zhang [Zhang 94] qui est constitué de deux manipulateurs parallèles mis en série (Figure.II.1), chaque manipulateur a 3ddl, la plate-forme inférieure et supérieure contrôlent respectivement la position et l'orientation de l'effecteur. Ce type de manipulateur permet de découpler la position et l'orientation de l'organe terminal [6].

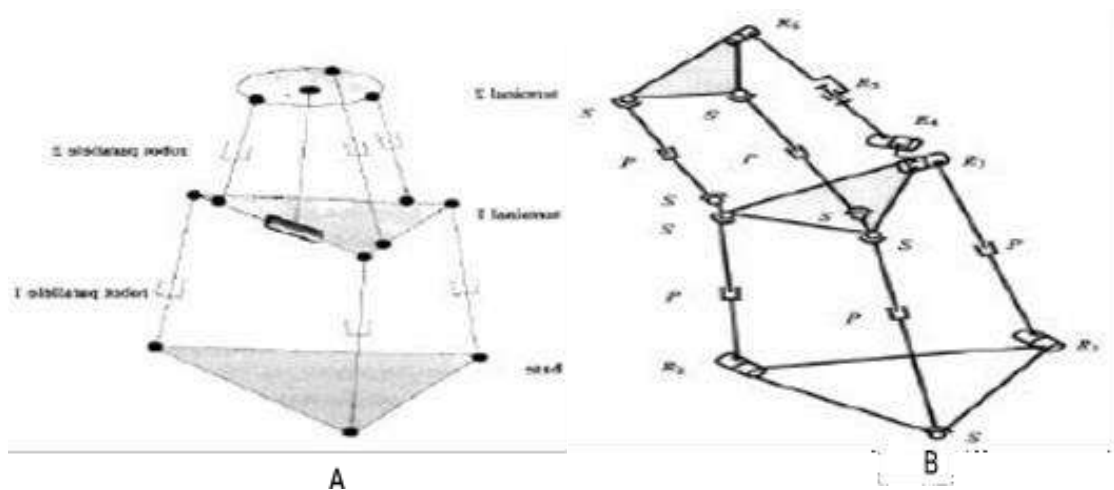


Figure II.1 :(A/B) les robots Hybrides.

II.2.1.Commande hybride

Initialement introduite par Raibert et Craig [12], cette commande a retenu l'attention de plusieurs chercheurs. Une revue exhaustive est présentée dans décrivant les débuts et l'évolution de cette approche. Elle s'approprie parfaitement au type de contact rigide entre l'effecteur et l'environnement. Elle nécessite une connaissance détaillée du modèle géométrique du lieu de contact. L'idée principale de cette approche est de partitionner l'espace (articulaire⁵⁴ ou cartésien⁵⁵) en deux sous-espaces complémentaires : (a) un sous-espace associé aux degrés de libertés (i.e. articulations) commandés en position (i.e. génération des trajectoires de l'effecteur) ;(b) un sous-espace associé aux degrés de libertés pilotés en force (i.e. modulation des efforts dans les directions des contraintes).

Dans la suite, nous élaborons la technique de conception de système d'asservissement hybride de position/force d'un manipulateur robotique en contact avec un milieu rigide.

II.2.2.Principe et objectif

Pour contrebalancer les contraintes physiques subies par l'organe terminal, la commande hybride impose des contraintes artificielles duales au système robotique choisies de façon à obtenir [13] : une trajectoire (i.e. position de l'effecteur) désirée dans les directions libres de mouvement ; - un effort (i.e. force appliquée par l'effecteur) désiré dans la direction de contrainte réelle de position. Ces deux modes de contrôles antagonistes sont subtilisés dans le même schéma regroupant l'ensemble des degrés de liberté du système. Sachant qu'un même actionneur peut agir sur plusieurs degrés de liberté, le principe de la commande hybride consiste à envoyer simultanément aux actionneurs les ordres nécessaires, émanant des contributions en position et en force.

II.2.3.Exemples de robots hybrides

II.2.3.1.Porteur parallèle – poignet série

Le robot Triceps de Nos (Figure.II.2) est une machine hybride : un mécanisme porteur d'architecture parallèle porte un poignet série. Une particularité de ce robot est la présence d'une patte passive (non-actionnée) qui contraint la cinématique du robot.

Ce robot a connu un réel succès commercial mais il semble que dans le domaine de la machine- outil les performances obtenues soient en deçà de celles espérées.

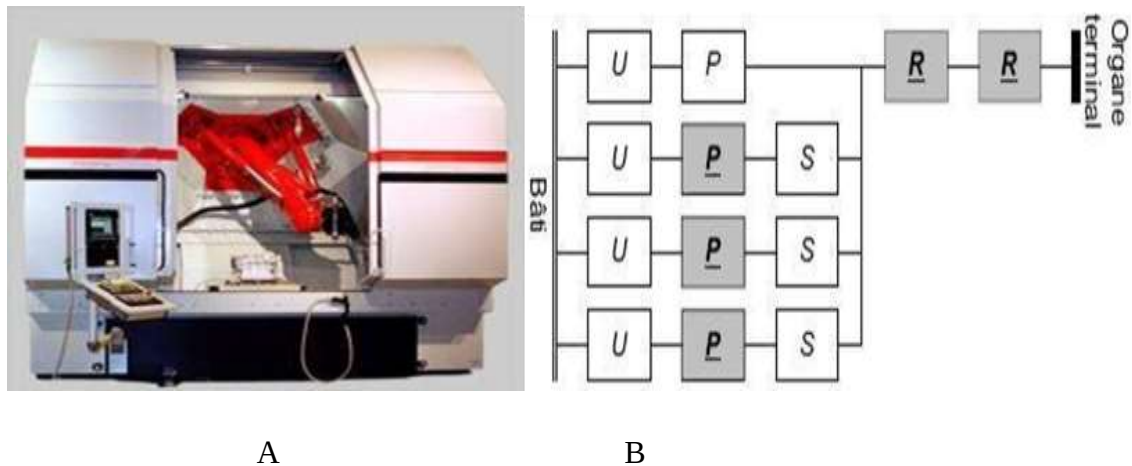


Figure II.2 : (A/B) Triceps 845 (Neos Robotics)

II.2.3.2.Prenursery – poignant parallel

La machine-outil Sprint Z3 de DS Technologies possède un mécanisme porteur x-y et un poignet d'architecture parallèle z-A-B. Destinée à l'industrie de l'aéronautique, cette

machine comprend un portique d'architecture classique d'une course de 60 mètres, et une tête d'architecture parallèle. (Figure.II.3).

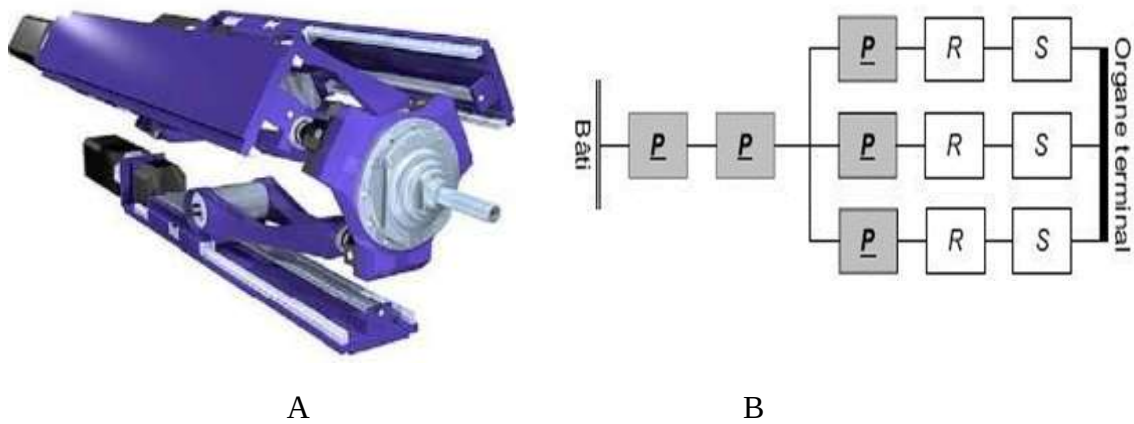


Figure II.3: (A/B) *Sprint Z3*

II.3.3.3. Le robot hybride Dumbo

La machine-outil Dumbo de l'IFW à l'université de Hanovre est un mécanisme hybride 3T-2R (Figure.II.4). Le porteur constitue un mécanisme hybride à lui tout seul puisqu'une colonne d'axe z supporte un mécanisme parallèle constitué de deux vérins et d'une patte passive. Le poignet d'architecture série confère à la machine des débattements angulaires importants.



Figure.II.4 : *Dumbo (IFW)*

II.2.4. Application du robot hybride

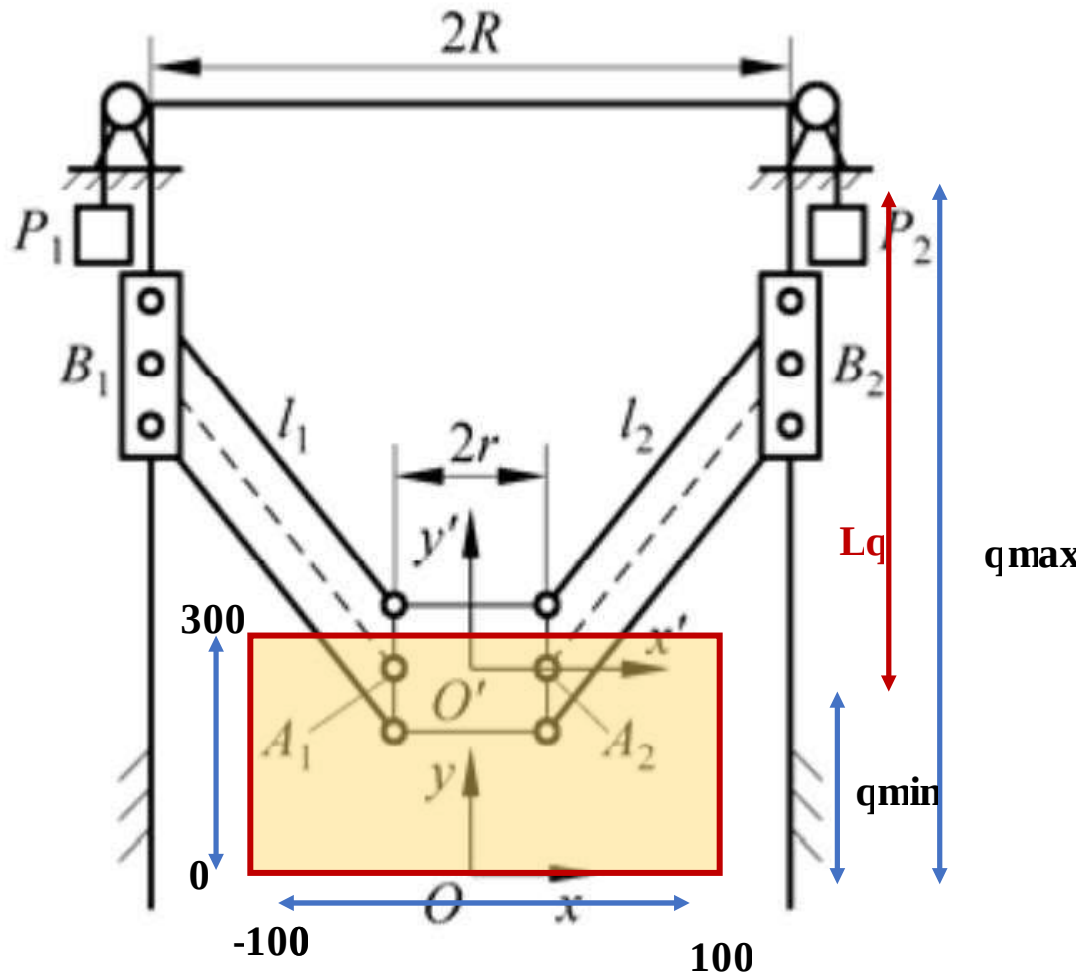
Le robot hybride a pris sa place dans la technologie des robots médicaux qui est l'un des domaines de recherche les plus florissants et les plus dynamiques. La chirurgie assistée par robot a l'avantage de réduire les tremblements des mains des chirurgiens, de diminuer les complications postopératoires, de réduire les douleurs des patients et d'augmenter la dextérité opératoire à l'intérieur du corps des patients. Ayons une vue d'ensemble sur le développement de la technologie robotique hybride pour la chirurgie.

II.3. Description de la structure et du mécanisme

La Figure II.1 montre un schéma cinématique d'une configuration PKM à 3 degrés de liberté adaptée à une utilisation avec une machine-outil. Il y a deux arbres verticaux avec des vis à billes, des guides à mouvement linéaire et des curseurs sur les côtés égaux. Chaque cheville est construite comme un parallélogramme en tant que mécanisme à quatre rails pour maintenir la plate-forme d'outils dans une orientation continue et pour assurer la rigidité PKM et la symétrie de construction nécessaires.

Les extrémités de la tige sont reliées par des joints pivotants à la plate-forme de l'outil et à la barre coulissante. Chaque curseur est entraîné par un servomoteur séparé. Par un fonctionnement séparé des glissières, la position spéciale de la plate-forme d'instruments dans le plan est obtenue. Les jambes sont longues, solides, légères ou légères et peuvent donc être utilisées dans des machines-outils. PKM offre un espace de travail suffisant car toutes les connexions sont d'un seul type DOF, [20] .

Le mouvement du curseur dépend de la rotation du servomoteur (pas à pas). Cette opération permet au curseur de se déplacer de haut en bas afin d'actionner l'effecteur à pattes avec lui. Nous pouvons également contrôler ce mouvement en contrôlant l'accélération et la vitesse du servomoteur comme nous le souhaitons. C'est ainsi que ce mécanisme est utilisé pour animer la plateforme dans l'espace de travail



II.5 : Modèle CAO de la machine

II.4.Modélisation géométrique

La résolution des modèles géométriques directs et inverses est un problème majeur en robotique et dans son étude.

Il doit au modèle géométrique inverse des robots parallèles, rendre possible le constat de configuration articulaire permettant de placer la plate-forme du manipulateur dans la configuration que l'on veut. Ce type de solution de modélisation ne pose généralement aucun problème.

Le modèle géométrique direct du mécanisme cinématique entièrement parallèle considéré comme un problème complexe, il est difficile de le comparer avec le modèle géométrique inverse pour le manipulateur en série. Ainsi, de nombreuses recherches ont été menées pour résoudre les problèmes suivants:

- La recherche rapide d'une solution à partir d'une configuration connue.
- Recherche du maximum de solutions réelles.
- La simplification du modèle par l'ajout de capteurs supplémentaires.

II.5. Etude cinématique

L'analyse de la position et de la vitesse fait partie de la cinématique d'un PKM 2-DoF. L'analyse de la position peut être effectuée en utilisant deux approches distinctes : la méthode vectorielle et la méthode géométrique [24] [25].

II.5.1. Analyse de position

À partir de la Figure II.1, nous pouvons simplifier le modèle de chaîne en un lien A_iB_i ($i=1$ ou 2). Cette figure présente le système de coordonnées de base Oy est attaché à la base avec son axe y vertical passant par le point central de la distance entre B_1 et B_2 . Un système de coordonnées mobile O_{xy} est fixé sur la plate-forme mobile et A_i et B_i sont les vecteurs de position des positions articulaires A_i et B_i , respectivement. $2r$ est la largeur de la plate-forme mobile et $2R$ est la largeur entre les deux colonnes. Le vecteur position de l'origine O' par rapport au repère O - xy est défini par:

$$r_{o'} = [xy \ z]^T \quad (II.1)$$

Le vecteur position de la position articulaire A_i dans $O'x'y'z'$ est :

$$A_1 = (-r, 0, 0) \rightarrow r'_{A_1} = [-r \ 0 \ 0]^T \quad (II.2)$$

$$A_2 = (r, 0, 0) \rightarrow r'_{A_2} = [r \ 0 \ 0]^T \quad (II.3)$$

Alors le vecteur de position de A_i dans le système de coordonnées de base O_{xyz} peut être exprimé comme :

$$r_{A_i} = r'_{o'} + r'_{A_i} \quad (II.4)$$

On pose $y = q$ alors, le vecteur position de position articulaire B_i en O - xy est :

$$B_1 = (-R, q_1) \rightarrow r'_{B_1} = [-R, q_1]^T \quad (\text{II.5})$$

$$B_2 = (R, q_2) \rightarrow r'_{B_2} = [R, q_2]^T \quad (\text{II.6})$$

Ainsi, l'équation de contrainte associée à la i ème chaîne cinématique peut s'écrire :

$$r_{Ai} - r_{Bi} = l_i n_i, \quad i = 1, 2 \quad (\text{II.7})$$

Où l_i est la longueur, n_i est le vecteur unitaire du i ème lien.

$$l^2 = (y - q_1)^2 + (x + (R - r))^2 \quad (\text{II.8})$$

$$l^2 = (y - q_1)^2 + (x - (R - r))^2 \quad (\text{II.9})$$

En résolvant (II-7) et les deux dernières équations, la position du curseur à savoir q_1 et q_2 peut être exprimée comme suit :

$$q_1 = y \pm \sqrt{l_1^2 - (x - r + R)^2} \quad (\text{II.10})$$

$$q_2 = y \pm \sqrt{l_1^2 - (x + r - R)^2} \quad (\text{II.11})$$

$$q_3 = z \quad (\text{II.12})$$

Pour la configuration illustrée à la Figure II.1, les solutions inverses de la cinématique sont :

$$q_1 = y + \sqrt{l_1^2 - (x - r + R)^2} \quad (\text{II.13})$$

$$q_2 = y + \sqrt{l_1^2 - (x + r - R)^2} \quad (\text{II.14})$$

$$q_3 = z \quad (\text{II.15})$$

A partir des équations (II.10) et (II.11), les solutions pour la cinématique directe du manipulateur peuvent être exprimées par :

$$AY^2 + By + C = 0 \quad (\text{II.16})$$

$$(a^2 + 1)y^2 + 2(ab + ya - q_1)y + (q_1^2 + b^2 + 2yb + y^2 - l^2) = 0 \quad (\text{II.17})$$

Où:

$$a = \frac{q_1 - q_2}{2(R - r)} \quad b = \frac{q_2^2 - q_1^2}{4(R - r)} \quad c = \frac{l_1^2 - l_2^2}{4(R - r)} \quad y = (R - r) \quad (\text{II.18})$$

$$x = ay + b + c$$

Les équations les plus importantes que nous leur arrivons sont II.7 et II.13 car elles décrivent les solutions q_i ($i=1, 2$) comme la cinématique directe et inverse du manipulateur sous forme fermée.

Pour une explication plus détaillée, la position des actionneurs ou des curseurs sur leurs rails respectifs, q_i peut être résolue pour une position donnée de la plate-forme d'outil, p (voir Figure II.1 ci-dessus), Si les valeurs de q_i satisfont les condition suivante, l'emplacement donné de la plate-forme d'outils p est dit atteignable :

$$0 \leq q_i \leq S_i \text{ For } i = 1, 2$$

II.6. Analyse de singularité

Robots parallèles Les singularités ont été étudiées principalement pour des préoccupations fondamentales telles que la définition, la catégorisation et l'identification. [26].

Par conséquent, en plus de sa structure beaucoup plus complexe en termes de dynamique, de cinématique, de planification et de contrôle, un manipulateur parallèle a également d'autres singularités différentes des singularités d'effecteur habituelles comme les singularités cinématiques directes, les singularités cinématiques inverses et singularités jointes, et peut être reconnu par le contrôleur Jacobain.

Par exemple, au point où l'un des maillons est horizontal, le contrôleur rencontre une singularité cinématique inverse, c'est-à-dire que J est singulier pour une certaine pose de la plate-forme d'outils ($y - q_i = 0$ pour tout $i=1, 2$ (il peut être appelée singularité stationnaire).

Chaque jambe est alors orthogonale à son rail, de ce fait le mécanisme perd un ou plusieurs degrés de liberté. Lorsque J devient solitaire par contre, le mécanisme gagne un ou

plusieurs degrés de liberté. La singularité d'incertitude est un terme utilisé pour décrire de telles singularités.[27] [28].

Lorsque nous voulons reconnaître des singularités, nous allons prendre les dérivées des équations (II.10) et (II.11) par rapport au temps donne

$$\dot{q}_1 = \dot{y} - \frac{x - r + R}{\sqrt{l_1^2 - (x - r + R)^2}} \dot{x} \quad (\text{II.19})$$

$$\dot{q}_2 = \dot{y} - \frac{x + r - R}{\sqrt{l_1^2 - (x + r - R)^2}} \dot{x} \quad (\text{II.20})$$

$$\dot{q}_3 = \dot{z} \quad (\text{II.21})$$

La dernière équation peut être réorganisée sous forme matricielle comme suit :

Où J^{-1} est l'inverse jacobien exprimé par

Les singularités cinématiques directes se produisent lorsqu'un maillon d'une chaîne et un maillon de l'autre chaîne sont colinéaires. Étant donné que $l_1 \ll l_2 > 2R$, les singularités combinées dans ce manipulateur illustré à la figure ne peuvent pas se produire. La figure montre un exemple de chaque type de singularité. Dans les applications pratiques, les singularités sont évitées en limitant l'espace de travail des tâches. Parce que ces singularités entraînent une perte de contrôlabilité et une dégradation de la solidité régulière des contrôleurs, c'est pourquoi ils doivent être évités dans l'espace de travail de l'entreprise.

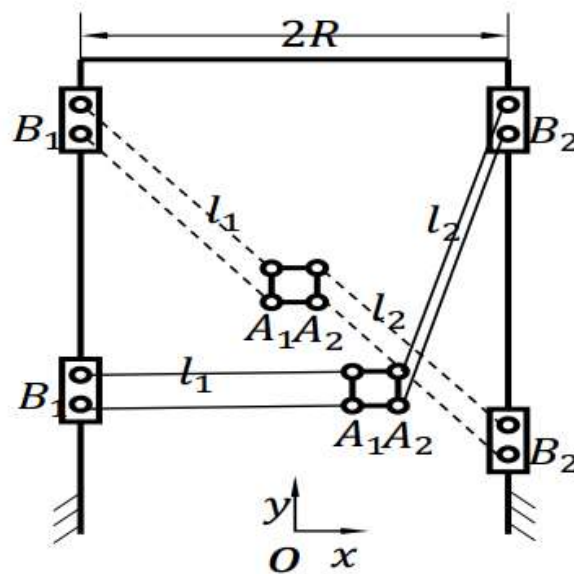


Figure II.6 : Configurations singulières

II.7.Espace de travail

L'espace de travail d'un mécanisme est l'un des facteurs importants qui dominent ses performances cinématiques. D'autant plus que les mécanismes parallèles souffrent d'un espace de travail plus petit que les mécanismes en série, il est très important d'analyser la taille et la forme de leur espace de travail du point de vue des applications industrielles [29][30][31].

Contrairement à une machine-outil traditionnelle, l'espace de travail d'un PKM 2-DoF est de forme compliquée. Du fait de l'orientation constante TCP (point central de l'outil) du mécanisme, la possibilité d'espace de travail de ce PKM est un espace à deux dimensions.

L'espace de travail pour le manipulateur parallèle planaire à 2 degrés de liberté est défini comme une zone plane générée à partir de l'espace de travail du point de référence de la plateforme mobile O' par dérivée.

Par conséquent, l'espace de travail accessible de ce point (O') est l'intersection des sousespaces de travail associés aux deux chaînes cinématiques, comme le montre la Figure II.7

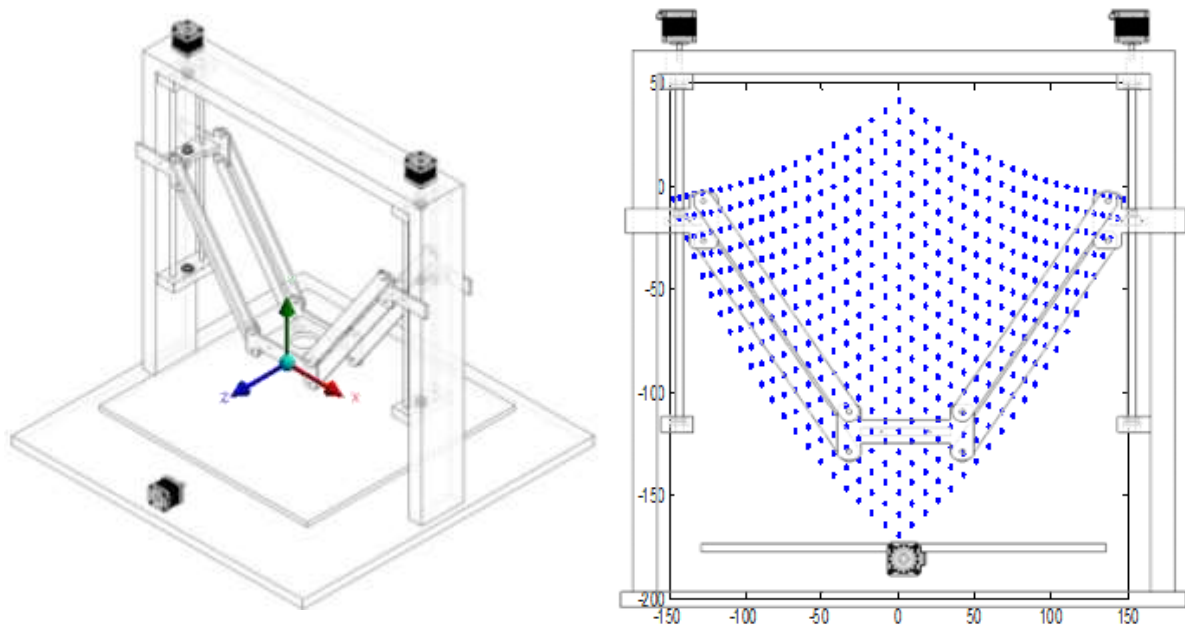


Figure II.7 : *Espace de travail du manipulateur*

La position du curseur est calculée à l'aide d'équations cinématiques inverses et ses limites sont vérifiées.

Nous pouvons réécrire ces équations sous la forme (II 8) (II 9).

II.8.Optimisation de l'espace de travail

La taille de l'espace de travail d'un mécanisme comme celui-ci doit être maximisée, car les mécanismes parallèles ont en moyenne un espace de travail plus petit que ceux en série.

Cependant, la conception du mécanisme en gardant à l'esprit l'espace de travail maximal peut entraîner des propriétés cinématiques indésirables telles qu'une dextérité et/ou une rigidité médiocre. Par conséquent, tout en améliorant un lieu de travail, une évaluation qualitative doit être effectuée.

II.9.Conclusion

Dans ce chapitre, nous fournissons un bref historique des robots hybrides leurs caractéristiques, puis proposons quelques définitions utiles des robots manipulés, ainsi que la structure mécanique des robots manipulés. Constituée de plusieurs corps reliés entre eux par des articulations, avec un degré de liberté de translation ou de rotation, cette structure mécanique peut former une simple chaîne cinématique ouverte ou une chaîne complexe.

Le choix de l'architecture et de l'ingénierie est un critère important pour répondre à certaines actions spécifiques des différentes parties du robot. Le modèle d'ingénierie directe et inverse des robots hybrides permet de résoudre une partie des problèmes soulevés sur ce type de PKM, en tenant compte de la difficulté du modèle d'ingénierie directe de l'ensemble du mécanisme de locomotion hybride.

La partie principale de cette description est l'étude cinétique. C'est une position et une vitesse moyennes car elles nous aident à trouver l'espace de travail utile sur lequel nous travaillons. De plus, puisque nous voulons économiser la possibilité de contrôler la rigidité normale des contrôleurs, nous devons éviter les problèmes de singularités qui pourraient endommager le système. À partir de là, nous avons dû essayer d'étudier et d'optimiser l'espace de travail et de déterminer les index spécifiques qu'il utilise.

Chapitre III

**Optimisation du planaire
manipulateurs hybride avec 3'DOF**

III.1. Introduction

Après avoir étudié l'étude théorique générale du robot hybride, nous sommes arrivés à une étude pratique. Dans ce chapitre, le problème d'optimisation sera formulé afin de trouver les dimensions optimales du robot étudié en utilisant le logiciel de simulation Matlab pour extraire les résultats nécessaires.

III 1.1. Évaluation de l'espace de travail

L'espace de travail est l'une des propriétés cinématiques les plus importantes des manipulateurs, même d'un point de vue pratique en raison de son impact sur la conception du manipulateur et son emplacement dans une cellule de travail.

Une évaluation numérique générale de l'espace de travail peut être déduite en formulant une représentation binaire appropriée d'une coupe transversale dans l'espace de tâche. Une coupe transversale peut être obtenue avec un balayage approprié des positions et orientations atteignables calculées p , une fois que le problème de la cinématique avant a été résolu pour donner P en fonction des variables articulaires d'entrée cinématique q . Une matrice binaire P_{ij} peut être définie dans le plan de section transversale pour une section transversale de l'espace de travail, comme illustré à la figure III.1

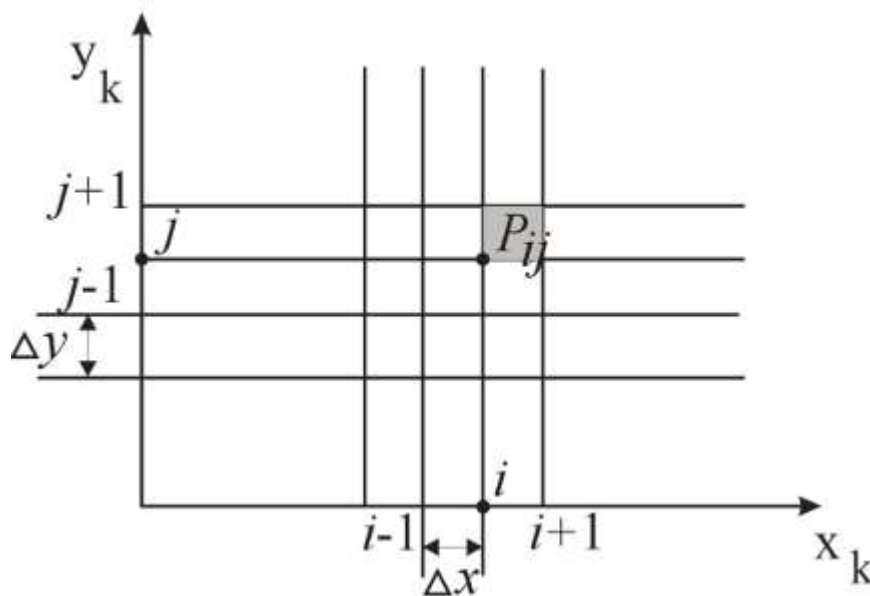


Figure III.1: Le schéma général de représentation binaire et d'évaluation de l'espace de travail du robot.

En général, les performances des robots hybride dépendent beaucoup de leur géométrie, donc il est devenu d'un grand intérêt les problèmes d'optimisation des robots hybride.

Un aspect clé des performances des robots hybrides est qu'ils dépendent beaucoup de la topologie et du dimensionnement du robot. Il est devenu d'un réel intérêt pour le développement de robots hybrides pour remplir les tâches de travail, ainsi l'introduction des indices de performance comme ou des critères d'optimisation utilisés pour caractériser le robot est devenue obligatoire. Dans la conception d'un robot, l'espace de travail est d'une importance primordiale. Maximiser l'espace de travail du robot hybride est l'un des principaux objectifs de la conception optimale des robots hybrides.

III.2.Processus d'optimisation

Le processus d'optimisation dans la conception est un outil de conceptualisation et d'analyse utilisé pour obtenir de meilleures conceptions ou améliorations de conception. Il s'agit d'une procédure mathématique permettant de déterminer des solutions optimales en représentant toutes les complexités de la conception sous la forme de variables de conception, de fonctions d'objectifs et/ou de contraintes.

Les éléments de base de tout problème d'optimisation contrainte sont les suivants :

III.2.1.Fonction objectif

Une fonction objective ou vecteur de fonctions objectives est l'expression mathématique qui exprime l'objectif d'optimisation en termes de variables de conception. Un processus d'optimisation est nécessaire pour minimiser ou maximiser la fonction objective. Par exemple, en robotique, la maximisation de l'espace de travail ou la minimisation de l'inertie/masse d'un manipulateur peuvent être les fonctions objectives.

III.2.2.Variables de conception

Aussi connus sous le nom de variables de décision, sont les « inconnues » du problème d'optimisation qui doivent être déterminées. Du point de vue du concepteur, ce sont les valeurs numériques contrôlables qui affectent la valeur de la fonction objectif. Les variables de conception peuvent être continues (telles qu'une longueur/diamètre/section transversale des liaisons du robot) ou discrètes (telles que le nombre de liaisons/articulations dans un robot).

III.2.3.Contraintes

Un ensemble de contraintes qui doivent être satisfaites pour que la conception soit réalisable. Ce sont des expressions mathématiques qui combinent les variables pour exprimer des limites sur les solutions possibles. Les contraintes permettent aux variables de conception de prendre certaines valeurs mais d'en exclure d'autres. En plus des lois physiques; les

contraintes peuvent refléter les limitations de ressources, les exigences des utilisateurs ou les limites de validité des modèles d'analyse.

III.2.4.Limites variables

Les variables de conception ne sont généralement pas autorisées à prendre une valeur. Au lieu de cela, ceux-ci ont généralement des limites inférieures et supérieures, connues sous le nom de limites variables. Les limites variables limitent l'espace de conception et, avec les contraintes, utilisées pour distinguer les solutions comme réalisables ou irréalisables.

Le problème d'optimisation est alors:

Trouvez les valeurs des variables de conception qui minimisent ou maximisent la fonction objective tout en satisfaisant aux contraintes. En se rappelant que les variables décrivent toutes les situations et que les contraintes décrivent toutes les situations réalisables Mathématiquement, un problème d'optimisation à objectif unique peut être exprimé comme suit:

$$\min f_x \text{ subject to: } \begin{cases} g_i(x) \leq 0 & i = 1, \dots, m \\ h_j(x) = 0 & j = 1, \dots, n \\ x_l \leq x \leq x_u \end{cases}$$

Où x est le vecteur des variables de conception, f est la fonction objective à minimiser sous réserve de m inégalité et de n contraintes d'égalité données respectivement par $g_i(x)$ et $h_j(x)$.

L'optimisation est un processus itératif et implique au moins un certain degré d'essais et d'erreurs. Au fur et à mesure que la complexité du problème augmente, la procédure de recherche devient fastidieuse et peut ne pas garantir une solution dans tous les cas.

Les principales étapes impliquées dans la résolution d'un problème d'optimisation peuvent être citées comme suit:

- comprendre le problème, en dessinant un diagramme ou un organigramme qui représente le problème;
- écrire une formulation de problème en mots, y compris les variables de décision, la fonction objective et les contraintes;
- écrire la formulation algébrique du problème ;
 - définir les variables de décision;
 - écrire la ou les fonctions objectives;
 - écrire les contraintes

- développer un modèle de feuille d'étalement;
- configurer les paramètres du solveur et résoudre le problème;
- examiner les résultats et apporter des corrections au modèle;
- analyser et interpréter les résultats.

III.2.5. Méthode d'optimisation (Un algorithme génétique (GA))

Un algorithme génétique (GA) est une technique de recherche utilisée en informatique pour trouver des solutions exactes ou approximatives à des problèmes d'optimisation et de recherche. Les algorithmes génétiques sont classés dans la catégorie des heuristiques de recherche globale. Et ils constituent une classe particulière d'algorithmes évolutifs (EA) qui utilisent des techniques inspirées de la biologie évolutive telles que l'héritage, la mutation, la sélection et le croisement. Les algorithmes génétiques ont été utilisés pour trouver des solutions optimales à des problèmes complexes dans divers domaines tels que la biologie, l'ingénierie, l'informatique et les sciences sociales.

La programmation génétique est un moyen d'élaborer des algorithmes qui mappent les données à un résultat donné lorsqu'aucune formule définie n'est connue. Les mathématiciens/programmeurs peuvent facilement trouver des algorithmes pour résoudre des problèmes qui traitent d'environ 5 variables [21].

III.2.5.1. Méthodologie de l'algorithme génétique

- **Initialisation:**

Au début, un grand nombre de résultats individuels ont besoin d'aide créée au hasard pour structurer un nombre de départ. Cette population dépend de la manière dont le problème est posé, en tout cas elle détient généralement quelques centaines ou beaucoup de résultats réalisables. Traditionnellement, la population peut être produite au hasard, enrobant l'ensemble de ces étendues pour des résultats autorisés (l'espace de chasse). Parfois, ces résultats peuvent avoir une chance d'être «ensemencés» Sur les régions où les résultats idéaux sont enclins à être découverts.

- **Sélection :**

Tout au long de chaque génération progressiste, une partie de la population existante peut être choisie engendrera une autre époque. Les résultats singuliers sont choisis par un processus basé sur la condition physique, les résultats les plus en forme (tels que mesurés Finalement Tom parcourt une fonction de bien-être) ont besoin d'aide normalement moins

opposés seront choisis. Certaines stratégies de choix évaluent le bien-être pour chaque résultat. Sélectionnez également de préférence les meilleurs résultats. Un exemple arbitraire de la population, de même cette méthodologie pourrait être extrêmement longue.

- **Reproduction (mutation):**

L'étape suivante consiste à générer une population de solutions de deuxième génération à partir de celles sélectionnées par des opérateurs génétiques : croisement (aussi appelé recombinaison), et/ou mutation.

- **Terminaison:**

Ce cycle générationnel est ressassé jusqu'à ce qu'une condition finale ait été atteinte [21]. Les conditions de fin de base sont les suivantes :

- Une solution est trouvée qui répond aux critères minimaux;
- Nombre fixe de générations atteintes;
- Budget alloué (temps/argent de calcul) atteint;
- La condition physique de la solution la mieux classée atteint ou a atteint un plateau tel que les itérations successives ne produisent plus de meilleurs résultats;
- Inspection manuelle;
- Combinaisons de ce qui précède.

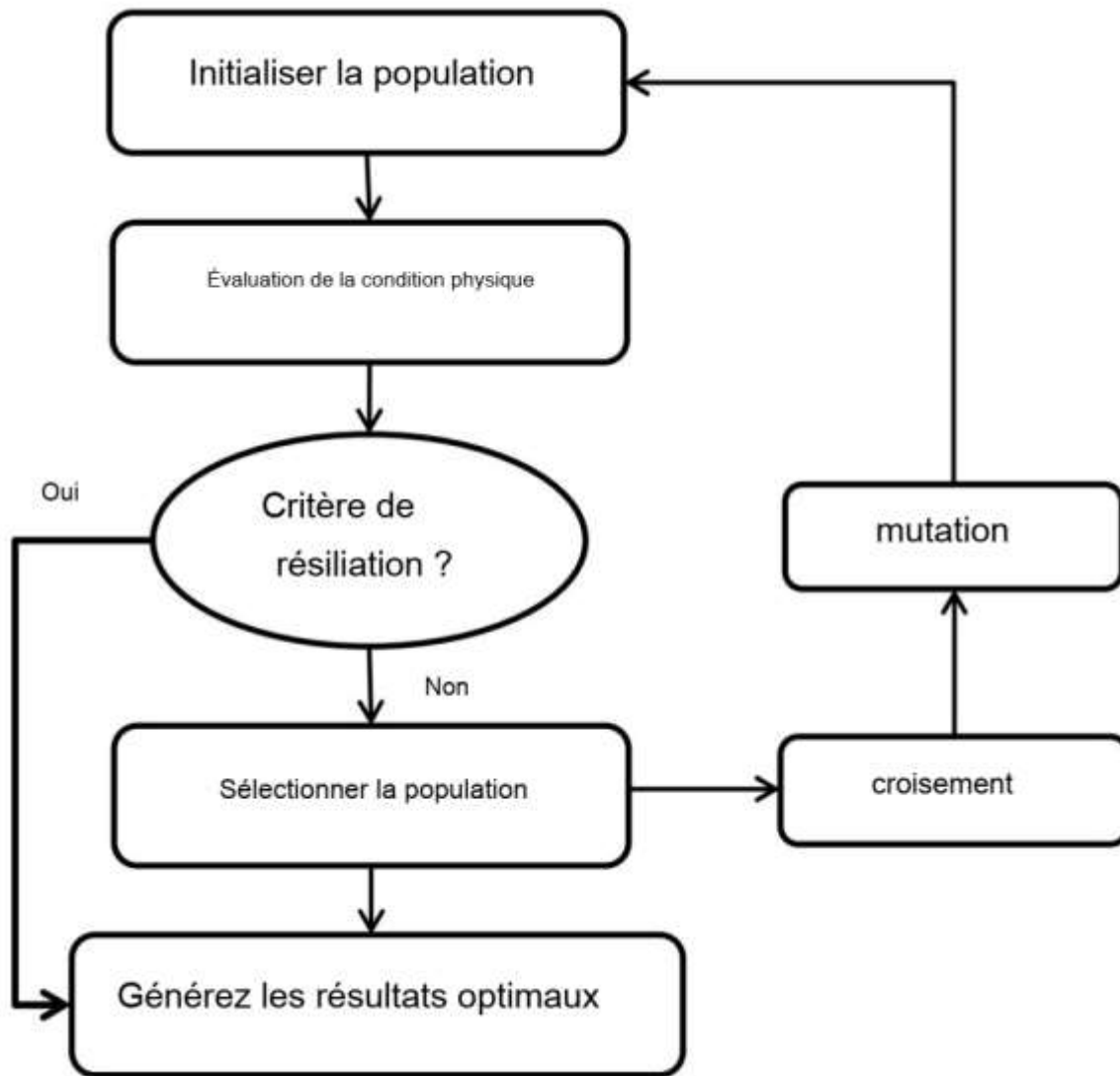


Figure III.2 : Représentation schématique des algorithmes génétiques (AG).

III.3. Étude de cas: Optimisation de la conception mono-objective d'un manipulateur hybrides 3'DOF

Les manipulateurs hybrides 3'DOF se distinguent par la caractéristique que tous leurs composants et les mouvements correspondants, y compris l'effecteur final, génèrent des mouvements planaires. Ces mécanismes sont simples avec leur cinématique simple et leur boucle de contrôle. Leur inaptitude évidente est leur inaptitude à effectuer une charge utile importante dont le poids est normal au plan de mouvement.

III.3.1.Fonction objectif

En analyse numérique, le numéro de condition d'une matrice est utilisé pour estimer l'erreur générée dans la solution d'un système linéaire d'équations par l'erreur dans les données [22]. Salisbury et Craig (1982) [23] sont les pionniers de l'utilisation du numéro de condition de la matrice jacobienne pour concevoir les doigts mécaniques des mains articulées. Plus tard, Angeles et Rojas (1987) [24] l'ont utilisé comme indice de performance kinéstatique du système mécanique robotique et l'ont appliqué à la conception d'un manipulateur spatial à 3 dof et d'un poignet sphérique à 3 dof. En ce qui concerne la matrice jacobienne d'un manipulateur de robot, le nombre de condition est un facteur d'amplification d'erreur des actionneurs affectant la précision de la vitesse cartésienne de l'effecteur final [25].

Selon Angeles [26] , pour une matrice jacobienne J , dont toutes les entrées ont les mêmes unités, le nombre de condition $\kappa(J)$, basé sur la norme 2, peut être défini comme le rapport du plus grand $\sigma_{\max}$ aux plus petites valeurs singulières $\sigma_{\min}$ de J , c'est-à-dire,

$$1 \leq \kappa(J) = \frac{\sigma_{\max}}{\sigma_{\min}} \leq \infty \quad (\text{III.1})$$

$\sigma_{\max}$ et $\sigma_{\min}$ peuvent être déterminés en résolvant l'équation caractéristique=

$$\det(\sigma^2 I - J^T J) = 0 \quad (\text{III.2})$$

où I désigne une matrice unitaire d'ordre 2.

En général, l'indice de performance global est utilisé comme mesure de la performance dans la conception cinématique, est

$$\bar{\eta} = \frac{\int_{W_t} \kappa dW}{\int_{W_t} dW} \quad (\text{III.3})$$

où κ est le nombre de condition de la matrice jacobienne. Parce que $\bar{\eta}$ est incapable de décrire l'écart entre les valeurs maximale et minimale de κ .

III.3.2.Variables de conception

Dans notre cas, nous devrions choisir les valeurs de trois éléments L , R et r comme le montre la figure II .1

- Limite du x de l'espace de travail (mm):

$$X_{es} = \begin{cases} -100 \leq x(mm) \leq 100 \\ 0 \leq y(mm) \leq 20 \\ -100 \leq z(mm) \leq 100 \end{cases}$$

- Limites des variables de conception:

$$L_{min} < L = l = l < L_{max}$$

$$300 < L < 400$$

$$R_{min} < R < R_{max}$$

$$100 < R < 250$$

$$r_{min} < r < r_{max}$$

$$70 < r < 100$$

Tableau III.1 : Paramètres des algorithmes génétiques

Paramètres génétiques	Ordre de grandeur
Nombre de générations	100
Taille de la population	60
Taux de mutation	0.005
Tolérance de fonction	1e-8
Taux de croisement	0.08

Le tableau III.1 montre divers paramètres de l'algorithme génétique utilisés pour l'optimisation des contrôleurs de processus.

Basé sur tous les paramètres du problème, et les données relatives à ce robot. L'utilisation de l'algorithme génétique sous Matlab, nous donne les résultats graphiques présentés qui sont présentés dans figures (III.3 et III.4).

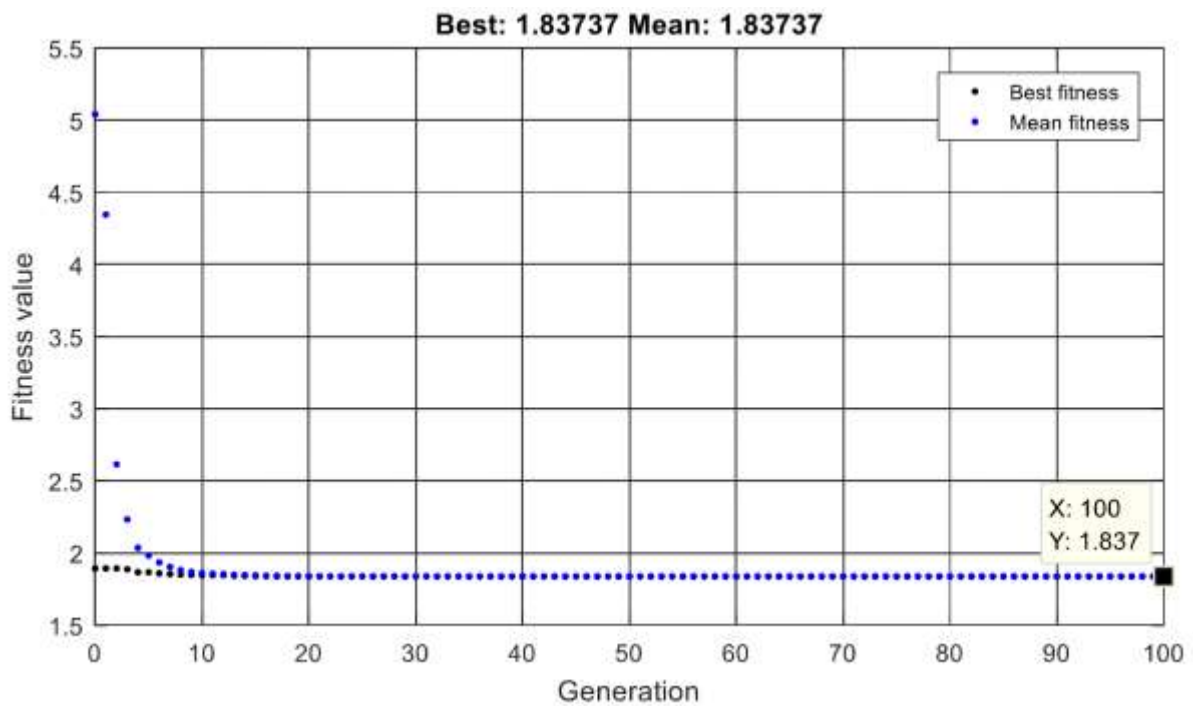


Figure III.3 : Evolution de la fonction objectif au cours des itérations

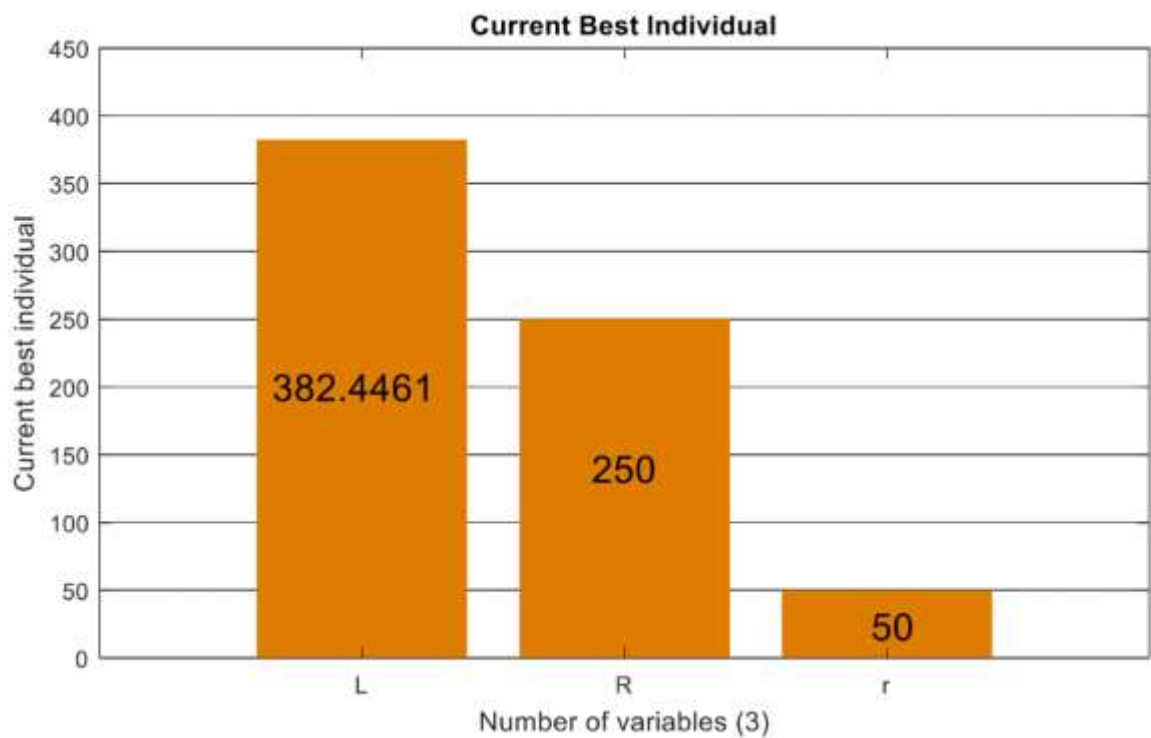


Figure III.4: Individus optimaux

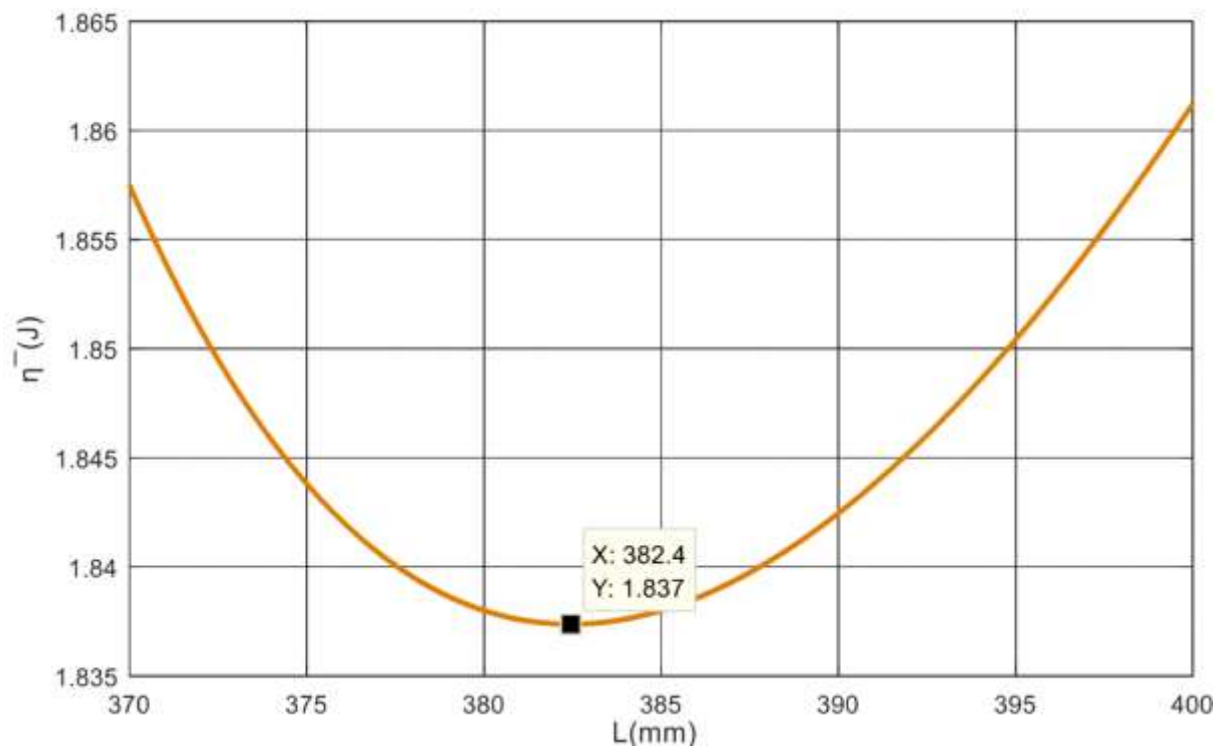


Figure III.5 : Conditionnement de la matrice Jacobienne inverse en fonction de $L(R=250, r=70)$

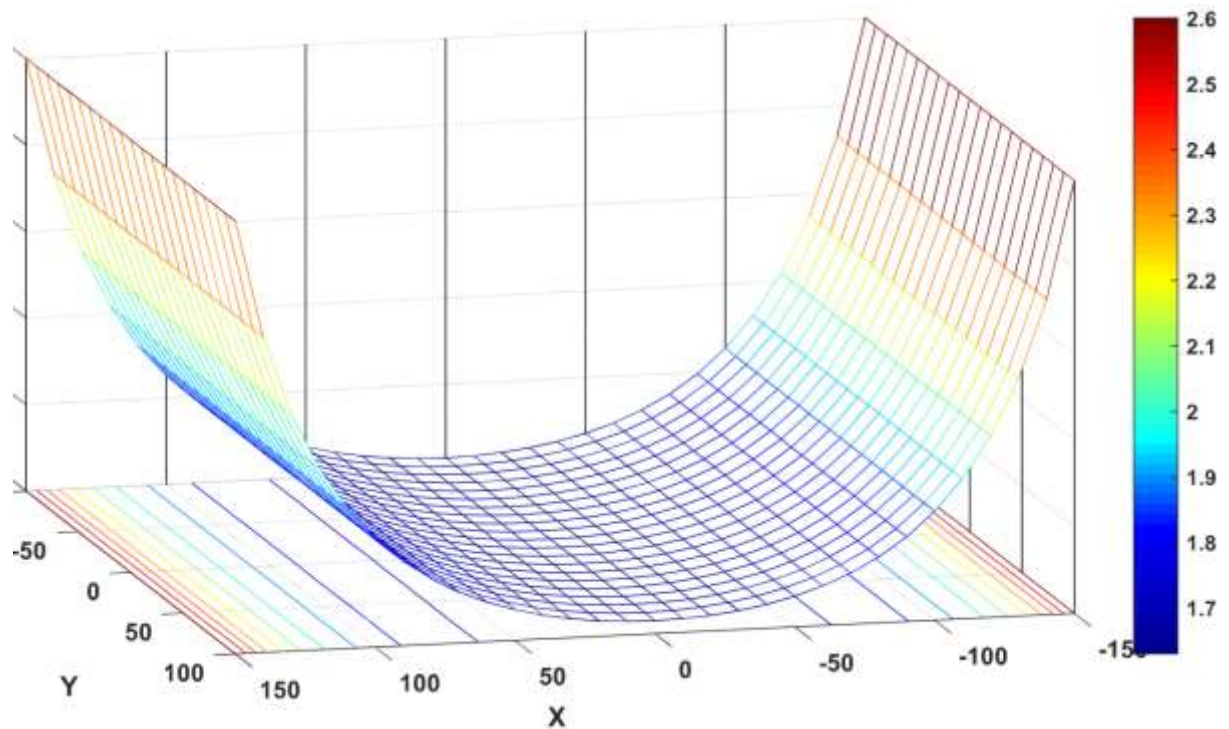


Figure III.6 : Distribution du numéro de condition dans l'espace de travail lorsque L est spécifié.

L'optimisation de notre machine nous donne les dimensions optimales (Tableau III.2) , que nous utiliserons dans la partie suivante.

- **Dimensions**

L = 360 mm

R = 250 mm ==> 2R = 500 mm

r = 70 mm ==> r = 140 mm

Tableau III.2 : Solution optimale obtenue.

Y = 0	Y = 300 mm	Dimension	
qmin = 143.8957	qmin = 173.9431	qmin = 140 mm	Lq = 250 mm
qmax = 358.7471	qmax = 388.7453	qmax = 390 mm	

III.4. Conclusion

Les résultats montrent que GA peut déterminer les paramètres architecturaux du robot qui fournissent un espace de travail optimisé. L'espace de travail d'un robot hybride étant loin d'être intuitif, la méthode développée devrait être très utile comme outil de conception.

Sur la base de la méthodologie d'optimisation présentée, nous pouvons conclure que la conception optimale et l'évaluation des performances du robot hybride sont la question clé pour une utilisation efficace des robots hybrides. Il s'agit d'une tâche très complexe et dans ce travail a été proposé un cadre pour la conception optimale en tenant compte de la base de l'espace de travail.

Les résultats de la simulation montrent les changements de déplacement, les vitesses et les valeurs d'accélération par rapport à l'espace de travail et au chemin sélectionnés.

Conclusion générale

CONCLUSION GÉNÉRALE

Les résultats montrent que GA peut déterminer les paramètres architecturaux du robot qui fournissent un espace de travail optimisé. L'espace de travail d'un robot hybride étant loin d'être intuitif, la méthode développée devrait être très utile comme outil de conception.

Sur la base de la méthodologie d'optimisation présentée, nous pouvons conclure que la conception optimale et l'évaluation des performances du robot hybride sont la question clé pour une utilisation efficace des robots hybrides. Il s'agit d'une tâche très complexe et dans ce travail a été proposé un cadre pour la conception optimale en tenant compte de la base de l'espace de travail.

Les résultats de la simulation montrent les changements de déplacement, les vitesses et les valeurs d'accélération par rapport à l'espace de travail et au chemin sélectionnés.

Dans ce travail, nous avons formé un problème d'optimisation de notre machine. Dans cette thèse, nous avons utilisé la technique de l'algorithme génétique (Matlab Toolbox) que nous avons implémenté dans Matlab.

Nous avons un objectif d'optimisation, concerne l'isotropie cinématique avec trois variables de décision. Les résultats obtenus montrent qu'il existe une influence de la longueur des barres du robot sur la fonction objective qui est le conditionnement de la matrice jacobienne. En fin de compte, nous avons trouvé une solution optimale pour les dimensions du robot.

Les algorithmes génétiques (AG) sont jusqu'à présent généralement le type d'algorithmes évolutifs les meilleurs et les plus robustes. Une AG présente un certain nombre d'avantages. Il peut rapidement analyser un vaste ensemble de solutions. Les mauvaises propositions n'affectent pas négativement la solution finale car elles sont simplement rejetées. Les résultats obtenus ont montré que l'utilisation de l'AG dans ce type de problème d'optimisation améliore la qualité du résultat de l'optimisation, fournissant un soutien meilleur et plus réaliste au décideur.

Enfin, nous concluons avec les perspectives suivantes: appliquer cette étude sur différents types de robots hybride, avec une amélioration et l'assurance de plusieurs points de

mesure et que les paramètres cinématiques optimaux sont atteints en utilisant un indice de performance global et complet pour effectuer la conception cinématique optimale.

An orange scroll graphic with a light orange gradient fill and a darker orange border. The scroll is unrolled in the center, with the word 'Bibliographie' written in a bold, black, serif font. The top and bottom edges of the scroll are slightly curved, and there are small circular details at the corners where the scroll would be attached.

Bibliographie

BIBLIOGRAPHIE

- [1] S. Briot and W. Khalil, "Dynamics of parallel robots," From rigid bodies to flexible elements. Springer, 2015.
- [2] T. Brogardh, "PKM Research-important issues, as seen from a product development perspective at ABB robotics," in Workshop on Fundamental Issues and Future Research Directions for Parallel Mechanisms and Manipulators, Quebec, Canada, 2002, p. 29: sn.
- [3] R. Clavel, "A fast robot with parallel geometry," in Proc. Int. Symposium on Industrial Robots '1988, pp. 91-100.
- [4] V. Gough, "Contribution to discussion of papers on research in automobile stability, control and tyre performance," Proc. of Auto Div. Inst. Mech. Eng., vol. 171, pp. 392-395, 1957.
- [5] D. Stewart, "A platform with six degrees of freedom," Proceedings of the institution of mechanical engineers, vol. 180, no. 1, pp. 371-386, 1965.
- [6] J.-P. Merlet, "Estimation efficace des caractéristiques de robots parallèles: Extremums des raideurs et des coordonnées, vitesses, forces articulaires et Singularités dans un espace de travail en translation," 1997.
- [7] J. M. Hervé, "Analyse structurelle des mécanismes par groupe des déplacements," Mechanism and Machine Theory, vol. 13, no. 4, pp. 437-450, 1978.
- [8] S.-J. Ryu et al., "Eclipse: An overactuated parallel mechanism for rapid machining," in Parallel Kinematic Machines: Springer, 1999, pp. 441-455.
- [9] C. Earl and J. Rooney, "Some kinematic structures for robot manipulator designs," 1983.
- [10] M. Baret, "Six degrees of freedom large motion system for flight simulators," AGARD Piloted Aircraft Environ. Simulation Tech. 8 p(SEE N 79-15973 07-09), 1978.
- [11] N. Richard, "Etude et modélisation des allures équestres: application à la commande d'un simulateur équestre," Poitiers, 1993.
- [12] G. L. Long and C. L. Collins, "A pantograph linkage parallel platform master hand controller for force-reflection," in Proceedings 1992 IEEE International Conference on Robotics and Automation, 1992, pp. 390-395: IEEE.
- [13] R. Neugebauer, M. Schwaar, and F. Wieland, "Accuracy of parallel structured of machine tools," in Proc. of the International Seminar on Improving Tool Performance, Spain, 1998, vol. 2, pp. 521-531.
- [14] F. Pierrot, "Robots pleinement parallèles légers: conception, modélisation et commande", Montpellier 2, 1991.

- [15] D. Chablat, "Domaines d'unicité et parcourabilité pour les manipulateurs pleinement parallèles," Ecole Centrale de Nantes (ECN)(ECN)(ECN)(ECN), 1998.
- [16] D. Daney and I. Z. Emiris, "Variable elimination for reliable parallel robot calibration," in 2nd Workshop on computational kinematics (CK2001), Korea, 2001, pp. 133-144.
- [17] Z. Geng, "An effective kinematic calibration method for Stewart platforms," in ISRAM, 1994, vol. 87.
- [18] C. Innocenti, "Algorithms for kinematic calibration of fully-parallel manipulators," in Computational kinematics' 95: Springer, 1995, pp. 241-250.
- [19] O. Masory, J. Wang, and H. Zhuang, "On the accuracy of a Stewart platform. II. Kinematic calibration and compensation," in [1993] Proceedings IEEE International Conference on Robotics and Automation, 1993, pp. 725-731: IEEE.
- [20] W. Khalil and O. Ibrahim, "General solution for the dynamic modeling of parallel robots," J. Intell. Robot. Syst. Theory Appl., vol. 49, no. 1, pp. 19–37, 2007, doi: 10.1007/s10846-007-9137-x.
- [21] J. Lenarcic and P. Wenger, Advances in robot kinematics: analysis and design. Springer, 2008.
- [22] X. Dong, J. Yu, B. Chen, and G. Zong, "Geometric approach for kinematic analysis of a class of 2-DOF rotational parallel manipulators," Chinese J. Mech. Eng. (English Ed., vol. 25, no. 2, pp. 241–247, 2012, doi: 10.3901/CJME.2012.02.241.
- [23] S. K. Darvekar, A. B. K. Rao, and J. V. S. Praveen, "Stiffness Estimation of a 2-DoF Parallel Kinematic Machine," in 2015 International Conference on Computing Communication Control and Automation, 2015, pp. 23–28.
- [24] J. Lenarcic and P. Wenger, Advances in robot kinematics: analysis and design. Springer, 2008.
- [25] X. Dong, J. Yu, B. Chen, and G. Zong, "Geometric approach for kinematic analysis of a class of 2-DOF rotational parallel manipulators," Chinese J. Mech. Eng. (English Ed., vol. 25, no. 2, pp. 241–247, 2012, doi: 10.3901/CJME.2012.02.241.
- [26] S. K. Darvekar, A. B. K. Rao, and J. V. S. Praveen, "Stiffness Estimation of a 2-DoF Parallel Kinematic Machine," in 2015 International Conference on Computing Communication Control and Automation, 2015, pp. 23–28.
- [27] D. Six, S. Briot, A. Chriette, and P. Martinet, "A controller for avoiding dynamic model degeneracy of parallel robots during type 2 singularity crossing," Mech. Mach. Sci., vol. 43, pp. 589–597, 2017, doi: 10.1007/978-3-319-44156-6_60.

- [28] X.-J. Liu, Q.-M. Wang, and J. Wang, "Kinematics, dynamics and dimensional synthesis of a novel 2-DoF translational manipulator," *J. Intell. Robot. Syst.*, vol. 41, no. 4, pp. 205–224, 2005.
- [29] S. Abdelhalim, "MODÉLISATION ET COMMANDE D ' UN ROBOT PARALLÈLE DESTINE A UN SIMULATEUR DE VOL 1," vol. 1, 2011.
- [30] A. Pashkevich et al., "The Orthoglide: Kinematics and Workspace Analysis To cite this version:" 2007.
- [31] J. M. I. S. BP and S. Cedex, "D ' etermination de l ' espace de travail d ' un robot parelle ' elle pour une orientation constante Complexit ' e de repr ' esentation de l ' espace de travail." 2007.
- [32] S. D. Stan, V. Mătieș, and R. Bălan, "Workspace analysis of the biglide mini parallel robot with 2 DOF," *Proc. IEEE Work. Adv. Robot. its Soc. Impacts, ARSO*, 2007, doi: 10.1109/ARSO.2007.4531419.