

**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**

Analyse et contrôle de machine cinématique parallèle  
hybride

**Devant le jury composé de :**

Dr. LAOUAMER Mosbah

president

Dr. DJOKHRAB Ala edine

Examineur

Dr. BENAMOR Afaf

Examineur

Dr. MANSOURI Khaled

Encadreur

**Présenté par :**

- LADJALI Ala eddine

- HOMMADI Mohammed

- KENIOUA Abdellatife

- ZAOUI Rida

**2021-2022**

## ***Remerciement***

*Tout d'abord (El-hamdoullah), c'est lui qui nous donne l'effort, le  
Courage et la Volonté de mener à bien ce projet.*

*Nous tenons à adresser nos chaleureux remerciements à notre encadrant  
Monsieur MANSOURI KHALED pour avoir assuré la direction de ce  
mémoire et pour ses encouragements tout au long de cette année de  
travail.*

*Nous adressons également nos remerciements à tous ceux qui ont  
contribué de près ou de loin à ce travail*

## *Dédicace*

*Je dédie ce travail à ma mère pour ses encouragements et ses prières tout au long de mes études. À mon père qui nous a inculqué l'amour de la science.*

*Je le dédie à mes frères et sœurs, et je les remercie pour leurs encouragements et leur aide, ainsi qu'à toute ma famille élargie.  
À tous mes amis sans citer de noms.*

# Sommaire

<b>REMERCIEMENT</b> .....	<b>I</b>
<b>DEDICACE</b> .....	<b>II</b>
<b>SOMMAIRE</b> .....	<b>III</b>
<b>LISTE DES FIGURES</b> .....	<b>V</b>
<b>INTRODUCTION GENERALE</b> .....	<b>1</b>
<b>I CHAPITRE I : LITTERATURE ET REVUE DES ROBOTS HYBRIDES</b> .....	<b>2</b>
I.1 INTRODUCTION .....	3
I.2 HISTORIQUE .....	3
I.3 CLASSIFICATIONS DES ROBOTS INDUSTRIELS.....	4
I.4 CARACTERISTIQUES D'UN ROBOT.....	6
I.5 TYPES DE ROBOTS INDUSTRIELS .....	7
<i>I.5.1 Les robots parallèles :</i> .....	7
I.5.1.1 Avantages des robots parallèles :.....	8
I.5.1.2 Inconvenient des robots' parallèles:.....	8
I.5.1.3 3Applications des robots parallèles.....	8
<i>I.5.2 Les robots séries</i> .....	9
I.5.2.1 A ventages des robots Série .....	10
I.5.2.2 Inconvenient des robots Série .....	11
I.5.2.3 Applications des robots en série.....	11
I.6 COMPARAISON DES CARACTERISTIQUES DE SERIE ET ROBOTS PARALLELES .....	12
I.7 LES ROBOTS' HYBRIDS .....	13
<i>I.7.1 Commande hybride</i> .....	14
<i>I.7.2 Principe et objectif</i> .....	14
<i>I.7.3 Exemples de robots hybrides</i> .....	15
I.7.3.1 Porteur parallèle – poignet série.....	15
I.7.3.2 Prenursery – poignantparallèle .....	15
I.7.3.3 Le robot hybride Dumbo .....	16
<i>I.7.4 APPLICATION DU ROBOT HYBRIDE</i> .....	16
<i>I.7.5 Espace de travail du robot hybride</i> .....	17

I.8	CONCLUSION .....	17
<b>II</b>	<b>CHAPITRE II : DESCRIPTIF TECHNIQUE DES ROBOTS HYBRIDES 3D. 18</b>	
II.1	INTRODUCTION .....	19
II.2	DESCRIPTION DE LA STRUCTURE ET DU MECANISME .....	20
II.3	MODELISATION GEOMETRIQUE.....	21
II.4	ETUDE CINEMATIQUE.....	21
II.4.1	<i>Analyze de position</i> .....	22
II.5	ANALYSE DE SINGULARITE.....	24
II.6	ESPACE DE TRAVAIL .....	25
II.7	OPTIMISATION DE L'ESPACE DE TRAVAIL.....	26
II.8	CONCLUSION .....	26
<b>III</b>	<b>CHAPITRE III : REALISATION D'UNE MACHINE HYBRIDE 3 DDL .... 28</b>	
III.1	INTRODUCTION .....	29
III.2	[1 <sup>ERE PARTIE</sup> ] : CONCEPTION ET REALISATION PRATIQUE LE ROBOT HYBRIDE.....	29
III.3	[2EME PARTIE] COMMAND COMPOSANTS ELECTRIQUES ET ELECTRONIQUES.....	39
III.4	EXPERIMENTATION ET RESULTATS .....	42
III.4.1	<i>Les differences modes de command</i> .....	42
	<b>CONCLUSION GENERALE .....</b>	<b>44</b>
	<b>REFERENCES .....</b>	<b>45</b>

# Liste des figures

FIGURE I.1- DIFFERENTES STRUCTURES DE ROBOT .....	5
FIGURE I.2- TYPES DES ROBOTS PARALLELES .....	7
FIGURE I.3-ROBOTS PARALLELES POUR UN POSITIONNEMENT PRECIS .....	9
FIGURE I.4- EXEMPLE DE ROBOT SERIE : ROBOT IRB 6600ID (ABB).[8].....	10
FIGURE I.5-APPLICATION ROBOTIQUE DAN MACHINE ET DECHARGEMENT .....	12
FIGURE I.6-APPLICATION DU ROBOT DANS LE CHARGEMENT DE LA PROCESSUS DE SOUDAGE ..	12
FIGURE I.7- (A/B) LES ROBOTS HYBRIDES.....	14
FIGURE I.8- (A/B) TRICEPS 845 (NEOS ROBOTICS).....	15
FIGURE I.9- (A/B) SPRINT Z3 .....	16
FIGURE I.10- DUMBO (IFW).....	16
FIGURE II.1 - MODELE CINETIQUE 2D .....	21
FIGURE II.2- CONFIGURATIONS SINGULIERES .....	25
FIGURE II.3 - ESPACE DE TRAVAIL DU MANIPULATEUR .....	26
FIGURE III.1- ROBOT HYBRID EN SOLID WORK .....	29
FIGURE III.2-LA BASE .....	31
FIGURE III.3 -MOTEUR LINEAIRE.....	32
FIGURE III.4-LE TIGE LISSE DE GUIDAGE LINEAIRE .....	32
FIGURE III.5-MOTEUR PAS A PAS .....	33
FIGURE III.6- ROULEMENT .....	33
FIGURE III.7-ARBRE CREUX .....	34
FIGURE III.8- TIGE FILETEE TRAPEZOÏDALE PRECISION.....	35
FIGURE III.9- COUPLEUR SOUPLE.....	35
FIGURE III.10- ÉCROU EPAULE .....	36
FIGURE III.11- LES BRAS EN SOLIDWORKS .....	37
FIGURE III.12- TIRETTE DE TIROIR. ....	38
FIGURE III.13- TABLE MOBILE .....	38
FIGURE III.14- LOGO DU PROGRAMME SOLIDWORKS .....	38
FIGURE III.15- ARDUINO UNO.....	39
FIGURE III.16- BOUCLE CNC V3.....	40
FIGURE III.17- 8825 STEPPER MOTOR DRIVER MODULE .....	40
FIGURE III.18- SOURCE DE COURANT .....	41

FIGURE III.19- ARDUINO PROGRAMME.....	41
FIGURE III.20 LOGICIEL DE CONTROLE DE ROBOT GRBL CONTROL .....	43
FIGURE III.21- PROGRAMME DE CONTROLE DE ROBOT (PRESSING 4.0).....	44
FIGURE III.22- RESULTAT GRAPHIQUE DE TEST (MA).....	44

# Introduction générale

La machine nous comprend de mieux en mieux et peut anticiper nos actions et nos gestes elle devient intuitive. A la maison, dans nos poches, au travail, dans la rue, il est tellement présent qu'on ne le voit plus. L'informatique d'aujourd'hui mène à la robotique et l'ordinateur interagit avec le monde réel. La réalisation est rendue possible grâce à l'intégration de capteurs et d'actionneurs, mais surtout grâce au développement de l'intelligence artificielle qui amène avec elle cette véritable révolution technologique façonnée par la robotique.

Une révolution déclarée, les robots tiennent une nouvelle promesse. Ce travail porte sur la conception optimale d'un robot hybride à trois degrés de liberté, suivi d'une compréhension de la géométrie et de l'étude cinétique de ce système.

Cette note est divisée en 3 parties. Dans le premier chapitre nous présenterons les concepts généraux du robot (série, parallèle et mixte) et mentionnerons ses caractéristiques. Le deuxième chapitre est consacré à la modélisation géométrique, cinétique et dynamique d'un robot réflexif. Concevoir une machine à trois axes, c'est-à-dire ne contenant que trois translations

Enfin, le troisième chapitre traite de la réalisation pratique du robot hybride avec une présentation de toutes ses parties en image réelle ainsi que la conception robotique optimale en s'intéressant aux performances cinétiques comme critère de performance et une solution pour l'algorithme génétique appliqué dans Matlab. Ceci est suivi d'une démonstration des étapes de construction mécanique de notre machine avec un système de contrôle basé sur une carte Arduino. La conception et la simulation seront réalisées à l'aide d'un logiciel d'ingénierie 3D (SolidWorks) et d'un modèle de moteur automatisé

# **I Chapitre I : Littérature et revue des robots hybrides**

En tant qu'êtres humains, nous sommes habitués à manipuler des objets tout le temps. Pour nous, c'est une chose naturelle et, la plupart du temps ; nous le faisons sans même y penser. Cependant, lorsque nous voulons imiter ce comportement à l'aide de robots, ce processus devient beaucoup plus compliqué.

Bien sûr, la modélisation des robots ou de ses comportements est un peu difficile exactement quand on veut le faire sur le manipulateur parallèle ou hybride surtout dans la partie de liaison et de déplacement des chaînes ou des composants mais il est possible d'y parvenir et de passer à la conception. Après avoir modélisé en plus d'autres quelques études s'il y en a, c'est la raison qui nous a fait mettre en lumière la modélisation dynamique de robots parallèles.

Dans ce chapitre, nous commençons par introduire des robots parallèles à certains tarifs et nous proposons.

## **I.1 Introduction**

Un robot est un dispositif mécatronique (alliant mécanique, électronique et informatique) accomplissant automatiquement soit des tâches qui sont généralement dangereuses, pénibles, répétitives ou impossibles pour les humains. Les premiers robots industriels apparaissent, malgré leur coût élevé, dans le début des années 1970. Ils sont destinés à exécuter certaines tâches répétitives, éprouvantes ou toxiques pour un opérateur humain : peinture ou soudage des carrosseries automobiles. Aujourd'hui, l'évolution de l'électronique et de l'informatique permet de développer des robots plus précis, plus rapides ou avec une meilleure autonomie. Industriels, militaires ou spécialistes chirurgicaux rivalisent d'inventivité pour mettre au point des robots assistants les aidant dans la réalisation de tâches délicates ou dangereuses. Dans le même temps apparaissent des robots à usages domestiques : aspirateur, tondeuses, etc. La robotique possède de nombreux domaines d'application. [1]

## **I.2 Historique**

L'origine du mot robot est issue du grecque "Robot" qui signifie travail forcé. Le terme de robotique est apparu en 1942 dans l'œuvre de l'écrivain ISAACASIMOV. Le premier robot manipulateur industriel, appelé Uni mate, était un descendant direct des télémanipulateurs développés pour les besoins du nucléaire. Créé par George D'Evol dans les années 1950, il fut utilisé pour travailler sur les chaînes d'assemblage de General Motors à partir de 1961. Parmi les robots industriels, le KukaFamulus, qui date de 1973, fut le premier

robot à 6 axes entraînés de façon électromécanique. Le Robot Delta, imaginé en 1985 par Reymond Clavel, professeur à l'École Polytechnique fédérale de Lausanne (EPFL), possède un bras de manipulation formé de 3 parallélogrammes. Son brevet tombe dans le domaine public en 2007 et différents constructeurs devraient alors sortir leur propre robot delta. Le Jet Propulsion Laboratory (JPL) développe un robot industriel hexapode (à 6 pattes) du nom de Lémur aura pour mission de monter, assembler et réparer des installations spatiales. Pesant moins de 5 kg, il offre la possibilité innovante d'adapter différents outils sur chacun de ses membres.[4].

### **I.3 Classifications des robots industriels**

Dans la robotique, on peut distinguer les robots industriels, composés d'un bras articulé muni d'un effecteur, et les robots mobiles qui peuvent se déplacer en autonomie dans un Environnement. Cependant, certains organismes, comme la JIRA (Japon Industriel Robot Association) ou l'AFRI (Association Française de Robotique Industrielle), ont établi des classifications plus précises, basées sur la spécificité fonctionnelle des robots.

La classification élaborée par la JIRA est la suivante :

- Classe 1 : TELEMANIPULATEURS. Bras commandé par un opérateur humain.
- Classe 2 : MANIPULATEURS AVEC SEQUENCE FIXE. Contrôle automatique, mais difficilement programmable.
- Classe 3 : MANIPULATEURS AVEC SEQUENCE VARIABLE. Contrôle automatique, reprogramme mécaniquement.
- Classe 4 : ROBOTS « PLAY-BACK ». Séquences qui sont exécutées à l'origine sous la supervision de l'être humain, mémorisées puis rappelées pour être rejouées.
- Classe 5 : ROBOTS AVEC CONTROLÉUR NUMÉRIQUE. Les positions des séquences sont contrôlées par des données numériques.
- Classe 6 : ROBOTS INTELLIGENTS. Le robot peut gérer son environnement à des Modifications arrivant durant l'exécution. La classification élaborée par l'AFRI est la suivante :
- Classe A : TELEMANIPULATEURS. Manipulateur maître/esclave.
- Classe B : MANIPULATEURS AUTOMATIQUES. Manipulateurs automatiques avec séquences fixes et variable (Machines à commandes numériques).
- Classe C : ROBOTS PROGRAMMABLES. 1ère génération de robots.

➤ Classe D : ROBOTS INTELLIGENTS. 2 -ème génération de robots.

Ces classifications des seuls robots industriels en fonction du type de commande ont bien

Vieilli, puisque tous les robots modernes, qu'ils soient à poste fixe ou mobile, sont conçus avec pour principal souci la détection de l'environnement, soit pour la sécurité des personnes et des biens, soit pour une meilleure autonomie de leur comportement. Ceci signifie qu'ils sont tous dotés d'un minimum de capteurs externes et qu'ils se trouvent tous dans la classe 6 de la JIRA ou la classe D de l'AFRI. Pourtant, tous ces robots sont loin d'être identiques en performance.

On tentera plus loin de proposer une nouvelle classification qui peut prendre ce phénomène en compte.[4] Constituants d'un robot Un robot manipulateur est constitué par deux sous-ensembles distincts, un organe terminal (dispositif destiné à manipuler des objets) et une structure mécanique articulée (SMA) (architecture composée de plusieurs chaînes de corps rigides assemblés par des liaisons appelées articulations). Les chaînes peuvent être soit ouvertes ou en série (tous les corps ont au plus deux liaisons), arborescentes (au moins l'un des corps a plus de deux liaisons) ou fermées (l'organe terminal est relié à la base du mécanisme par plusieurs chaînes). Ces différentes structures sont montrées dans la Figure I.1.[5]

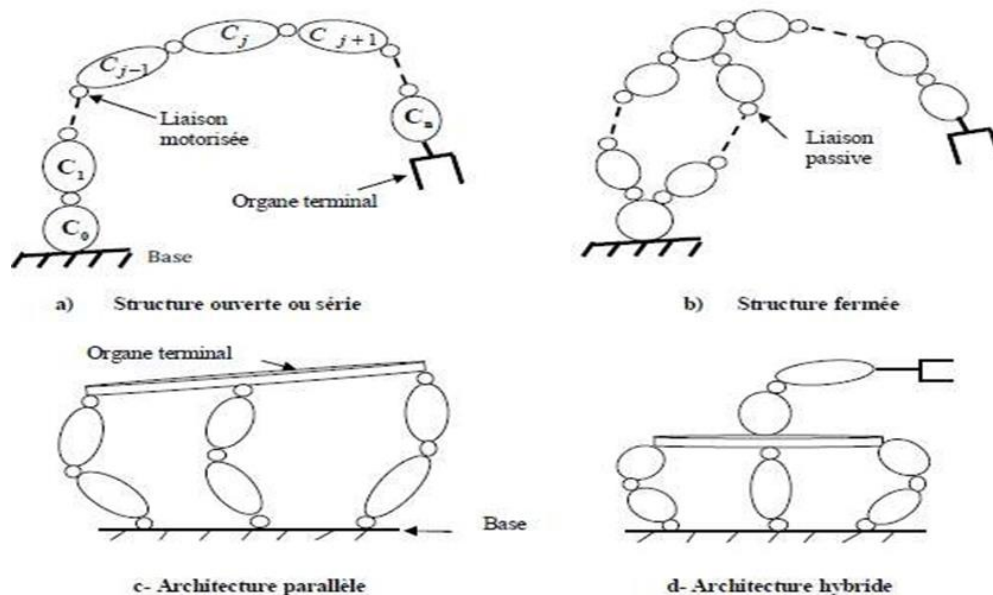


Figure I.1- différentes structures de robot

## I.4 Caractéristiques d'un robot

L'intérêt d'une caractérisation est de mettre à la disposition des différents intervenants dans le domaine de la robotique, comparaison efficace des performances de plusieurs manipulateurs et de leur permettre ainsi d'effectuer le meilleur choix possible du robot. Cependant, la versatilité (flexibilité d'utilisation), l'auto adaptabilité a l'environnement (Capacité d'initiative) ou encore la complexité technologique des robots rend leur caractérisation très difficile, le but essentiel est de caractéristiques permettent de réaliser cet objectif :

**Morphologie** : Morphologie et est basé sur une combinaison de deux paramètres, le type de joints tournants ou prismatique et les angles que font les deux axes des applications consécutives (0 ou 90 °).

**Espace de travail** : appelé aussi volume accessible, c'est l'ensemble des points auxquels peut accéder l'organe terminal du robot.

**Précision** : les imprécisions ( $> 1$  mm) sur le positionnement absolu sont dues essentiellement aux erreurs dans le modèle géométrique, aux erreurs de quantification de la mesure de position ou encore aux flexibilités.

**Respectabilité** : c'est l'erreur maximale de positionnement répète de l'outil en tout point de son espace de travail, elle est en général inférieure a 1 mm

**Vitesses et accélérations max** : Elles dépendent de la qualité des actionneurs utilisés il existe deux vitesses : la vitesse maximale de translation ou de rotation de chaque axe, les constructeurs donnent souvent une vitesse maximale de l'organe terminal. L'accélération maximale, est donnée pour chaque axe dans sa configuration la plus défavorable (charge maximale, inertie maximale), elle dépend fortement de l'inertie et donc de la position du robot

**Charge utile** : la charge utile est la charge maximale que peut porter le robot sans dégrader Sa respectabilité, Elle est différée de la charge maximale que peut porter le robot qui dépend directement des actionneurs, les méthodes et les essais à effectuer afin de déterminer ces caractéristiques sont décrits de manière détaillée dans des normes spécifiques. Pour notre, nous ne pouvons dans le cadre de ce travail faire une caractérisation du robot, d'une part, ceci n'est pas l'objet du projet, d'autre part, une caractérisation nécessite l'achat de normes et

l'utilisation d'appareils de mesure Perfectionnés et dont nous ne disposons malheureusement pas [3].

## I.5 Types de robots industriels

### I.5.1 Les robots parallèles :

Un robot parallèle est un mécanisme dont l'architecture lui confère des propriétés remarquables dont la définition scientifique, est un mécanisme en chaîne cinématique fermée dont l'organe terminal est relié à la base par plusieurs chaînes cinématiques indépendantes.

En quelques sortes, l'organe terminal ou effecteur partie qui agit sur l'environnement, l'outil est relié au bâti par plusieurs bras, chaque bras étant une « chaîne cinématique » (association de plusieurs pièces articulées entre elles). Sa mobilité est donc restreinte, puisqu'elle est limitée par les divers bras ; par contre, cela confère une plus grande résistance et précision, puisque les efforts sont répartis.

Le plus répandu parmi les mécanismes parallèles est connu sous des dénominations comme « Hexapode », « plate-forme de Gough-Stewart », « plateforme synergétique ». Il peut se présenter sous différentes formes mais comporte en général 6 actionneurs identiques dont le couplage assure les qualités du système : 6 degrés de liberté dans les déplacements c'est-à-dire x, y, z, tangage, lacet et roulis. [2] La figure.I.2 montrer les types de robots parallèles

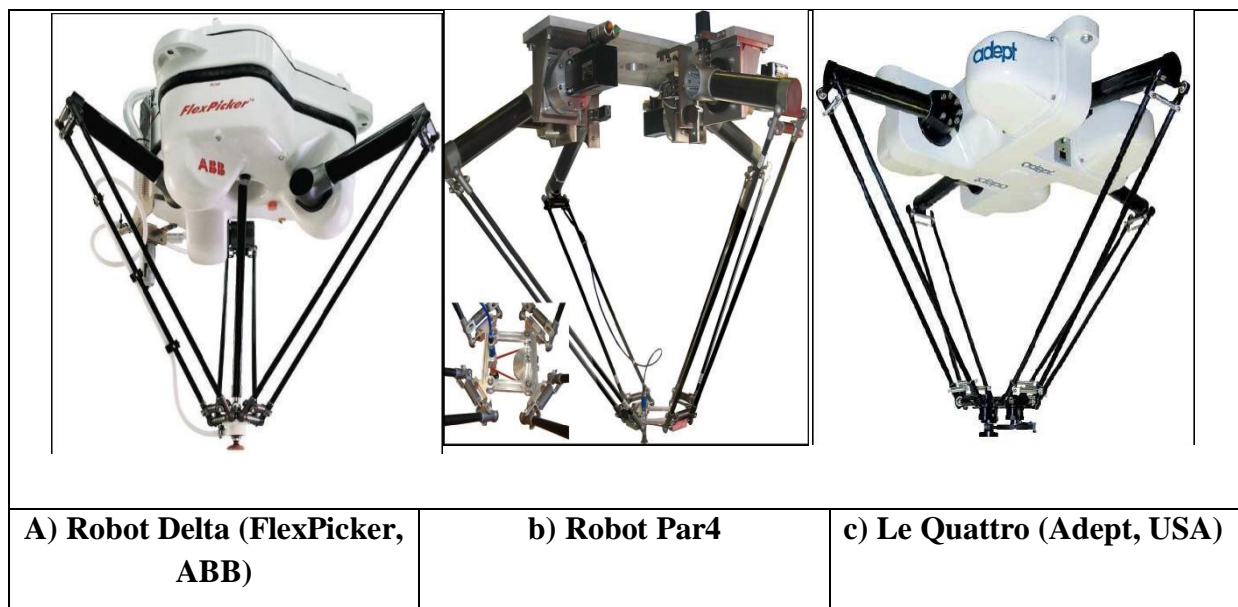


Figure I.2- Types des robots parallèles

### **I.5.1.1 Avantages des robots parallèles :**

Mettre en parallèle plusieurs chaînes cinématiques entraînées chacune par un actionneur offre les avantages suivants [7] :

- Faible masse mobile, car les actionneurs sont souvent solidaires de la plate-forme fixe contrairement aux robots série qui comportent des actionneurs sur certaines articulations,
- Une bonne rigidité mécanique confère aux structures parallèles une bonne précision, Capacité de charge transportable élevée due à sa distribution sur les différentes chaînes cinématiques,
- Les structures parallèles donnent la possibilité d'obtenir des mouvements à haute dynamique (vitesses et accélérations élevées jusqu'à 50 g), car les actionneurs n'auront pas à compenser des poids importants appliqués en porte-à-faux, ils peuvent donc engendrer des vitesses et accélérations beaucoup plus importantes,
- La possibilité de positionner les actionneurs directement sur la base fixe procure de nombreux avantages. Tout d'abord, cela offre un choix important pour les actionneurs car leur masse n'est plus un critère de sélection du fait qu'elle n'intervient pas dans l'inertie. Les problèmes de liaison entre actionneurs, capteurs et contrôleurs sont simples fiés. Les moteurs sont plus facilement isolables de l'espace de travail dans le cas d'application en atmosphère propre.

### **I.5.1.2 Inconvénient des robots' parallèles:**

Les robots parallèles présentent les inconvénients suivants [8] :

- Espace de travail réduit (restreint),
- Faible ratio volume de travail/encombrement,
- Le modèle géométrique est parfois difficile à obtenir,
- Présence des singularités dans l'espace de travail qui peut conduire à une perte de contrôle de la plateforme mobile (nacelle),
- Non linéarité entre les équations géométriques et cinématiques ce qui entraîne une grande complexité de conception et de commande.

### **I.5.1.3 Applications des robots parallèles**

Après avoir passé près de 20 ans dans les laboratoires pour les études préliminaires, des robots parallèles sont maintenant utilisés dans des applications réelles. Cet intérêt pour robots parallèles vient du potentiel caractéristique intéressantes des mécanismes parallèles : haute

précision, rigidité, rapidité et capacité de charge importante capacité, qui dans un très grand nombre de cas peut surmonter les inconvénients des plus complexes cinématique, dynamique et espace de travail réduit. Mais un fait est que ces avantages ne sont que potentiel et tout vrai robot parallèle présentera dans pratiquer des performances impressionnantes seulement si tous ses composants (matériels ou logiciels) présentent un haut niveau de performances.

Les applications actuelles des robots parallèles sont dans domaines tels que les dispositifs de positionnement fin (figure.I.3) [9]



*Figure I.3-Robots parallèles pour un positionnement précis.*

### **I.5.2 Les robots séries**

Un robot série est constitué de plusieurs liaisons connectées en série par différents types de joints, typiquement rotondes prismatiques. Une extrémité du robot est attachée ale sol et l'autre extrémité est libre de se déplacer espace. Le lien fixe est appelé base, et l'extrémité libre où une pince ou une main mécanique est attachée, l'effecteur terminal. Pour qu'un robot exécute une tâche spécifique, l'emplacement de l'effecteur terminal par rapport à la base doit être établie en premier. C'est ce qu'on appelle l'analyse de position problème. Il existe deux types d'analyse de position problèmes : position directe ou cinématique directe et problèmes de position inverse ou de cinématique inverse. Pour la cinématique directe, les variables articulaires sont données et le problème est de trouver l'emplacement de la fin effecteur. Pour la cinématique inverse, l'emplacement de là l'effecteur final est donné et le problème est de trouver le variables conjointes nécessaires pour amener l'effecteur final à l'apposition souhaitée. Pour un robot série direct la cinématique est assez simple, alors qu'Ela cinématique inverse devient très difficile. Pour un robot déficient l'effecteur final ne peut pas être positionné librement dans l'espace, et pour le robot redondant là-bas peut être plusieurs infinitudes de cinématiques inverses solutions correspondant à un effecteur donné

emplacement, en fonction des degrés de redondance. En résolvant le problème de cinématique inverse, nous sommes souvent intéressés à obtenir un formulaire fermé solution, c'est-à-dire réduire le problème à un équation algébrique reliant l'emplacement de l'effecteur final une seule variable conjointe. De cette manière, tout est possible des solutions et des postures de manipulateur peuvent être comptabilisé. Pour atteindre cet objectif, diverses méthodes de formulation ont été proposées : algèbre vectorielle méthode, méthode géométrique, méthode matricielle 4x4(Denavit-Hartenberg), méthode double matrice 3x3, méthode itérative, méthode d'algèbre vis et méthode de l'algèbre qu'atérienne [10]. Le nombre de cinématiques inverses possibles solutions dépend du type et de l'emplacement d'un robot manipulateur. En général, forme fermée des solutions peuvent être trouvées pour les robots manipulateurs avec géométrie simple, comme les manipulateurs à trois axes articulaires consécutifs se coupant en un point commun point ou trois axes articulaires consécutifs parallèles aune autre. Pour un manipulateur de géométrie générale, le problème de cinématique inverse devient un problème extrêmement tâche difficile. Deux méthodes couramment utilisées pour la cinématique l'analyse des manipulateurs de robots en série sont Déravîtes la méthode de Hardenberg et la méthode de déplacements successifs des vis. (Figure I .4).



*Figure I.4- Exemple de robot série : Robot IRB 6600ID (ABB).[8]*

### **I.5.2.1 A ventages 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 :

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

### **I.5.2.2 Inconvénient des robots Série**

Les principaux défauts des robots série sont les suivants :

- 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

### **I.5.2.3 Applications des robots en série**

Les robots, essentiellement des robots en série, sont utilisés dans applications nécessitant des tâches répétitives sur de longues périodes de temps, opérations dans des environnements (comme le rayonnement nucléaire, sous l'eau, exploration spatiale, etc.) et travail de précision avec haut degré de fiabilité. Ils peuvent également être utilisés par personnes handicapées à surmonter certains de leurs handicaps physiques. Quelques exemples d'utilisation de robots industriels sont suivantes : chargement et déchargement de la machine (fig.I.5), palettisation, moulage sous pression, forgeage, travail de presse, soudage à l'arc et soudage par points (fig.I.6), chaleur traitement, pulvérisation (peinture, émail, résine époxy et autres revêtements), ébavurage, meulage, polissage, moulage par injection, découpe (laser, plasma),[11] etc.

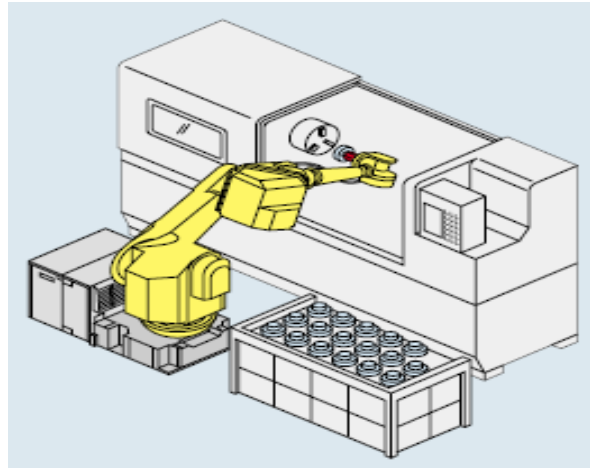


Figure I.5-Application robotique dan machine et déchargement

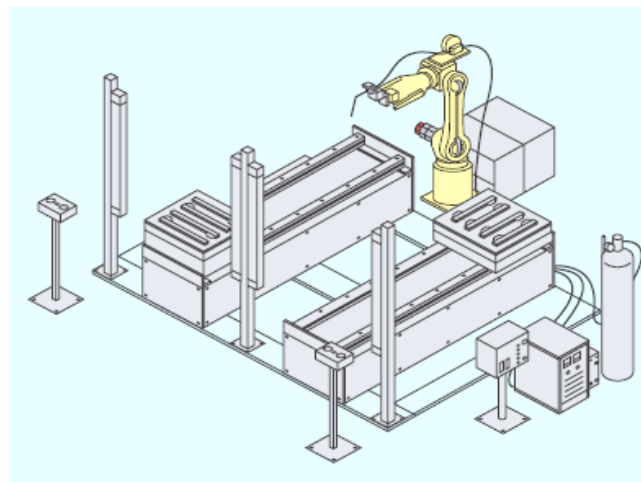


Figure I.6-Application du robot dans le chargement de la processus de soudage

## I.6 Comparaison des caractéristiques de série et robots parallèles

Le tableau ci-dessous donne une comparaison entre les principaux

Caractéristiques des robots série et parallèle :

Tableau I-1.Caractéristiques des robots série et parallèle

Fonctionnalité	Robot Série	Robot parallèle
Espace de travail	Grande	Petit et complexe
Résoudre	Inverse	Cinématique Difficile Facile
Erreur de positionnement	Accumule	Moyennes
Forcer l'erreur	Moyennes	Accumule
Force maximale	Limité parle minimum force	Somme de tous les

	de l'actionneur	actionneurs les forces
Raideur	Bas	Haute
Dynamiques caractéristiques	Pauvre, surtout avec l'augmentation de la taille	Très haut
Modélisation et résolution dynamique	Relativement simple	Très complexe
Inertie	Grande	Petit
Domaines d'application	Un grand nombre dans différents domaines, en particulier dans industrie	Actuellement limité, en particulier dans industrie
Charge utile/poids	Faible	Haute
Vitesse et accélération	Bas	Haute
Précision	Bas	Haute
Uniformité de Composants	Bas	Haute
Étalonnage	Relativement simple	Complicé
Espace de travail/robot Rapport de taille	Bas	Haute

## I.7 Les robots' hybrides

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 combinas 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 [Zha 94] qui est constitué de deux manipulateurs parallèles mis en série (Figure.I.7), 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. On trouve une autre structure similaire dans [Tan 00] [6]

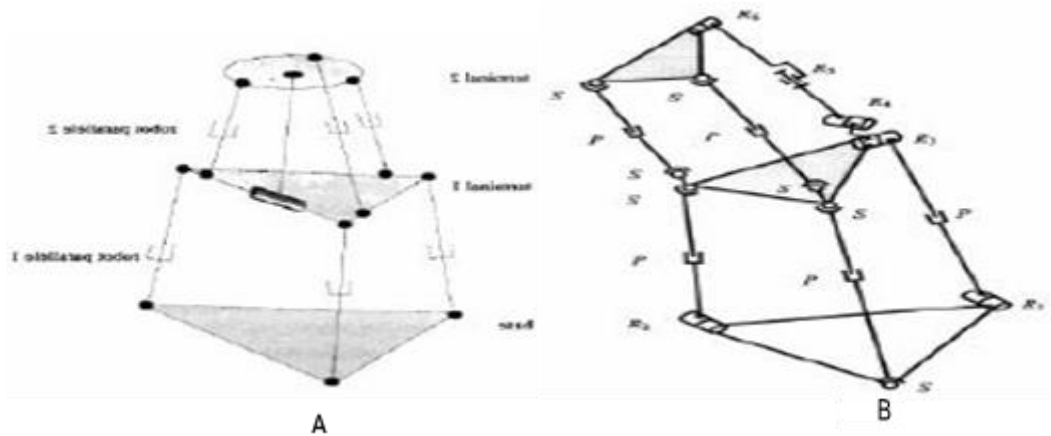


Figure 1.7- (A/B) les robots Hybrides.

### I.7.1 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 (articulaire<sup>54</sup> ou cartésien<sup>55</sup>) 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.

### I.7.2 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.

### I.7.3 Exemples de robots hybrides

#### I.7.3.1 Porteur parallèle – poignet série

Le robot Triceps de Nos (Figure.I.8) 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.

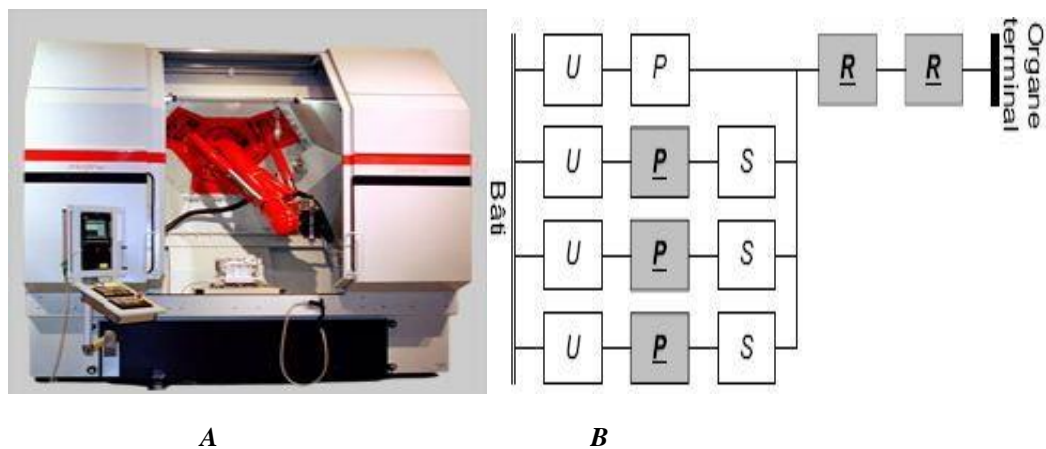
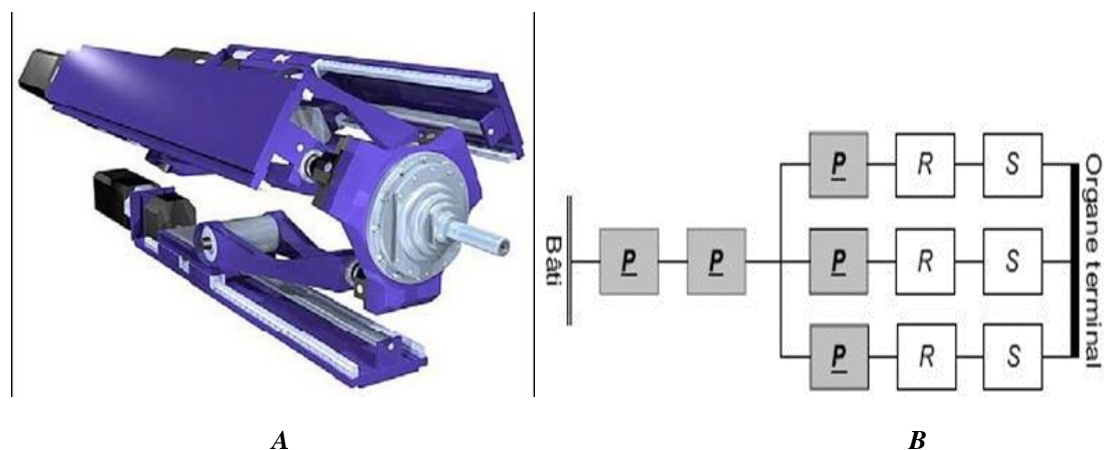


Figure I.8- (A/B) Triceps 845 (Neos Robotics)

#### I.7.3.2 Prenursery – poignantparallel

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.I.9).



*Figure I.9- (A/B) Sprint Z3*

### **I.7.3.3 Le robot hybride Dumbo**

La machine-outil Dumbo de l'IFW à l'université de Hanovre est un mécanisme hybride 3T-2R (Figure.I.10). 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 I.10- Dumbo (IFW)*

### **I.7.4 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.

P. L. Yen [14] a présenté le mécanisme parallèle cartésien comme le module clé du robot chirurgical du genou construit. Dans le robot construit, l'espace de travail limité et la rigidité élevée du manipulateur parallèle cartésien confèrent au robot chirurgical une sécurité accrue et une précision de coupe élevée. S. Bruni [15] a présenté la conception d'un robot portable qui peut être facilement manipulé dans la salle d'opération, le robot présente une structure hybride qui permet de réaliser de manière simple les différents plans de coupe d'os de fraisage pour implanter la prothèse dans le genou patient. T. Wang [16] a présenté un robot hybride pour la cryochirurgie du cancer du poumon. Can Tang a présenté une étude cinématique sur le robot hybride 7-DOF (degré de liberté) en chirurgie mini-invasive. R. Ye

[17] a présenté un robot 6 DOF pour la chirurgie de réduction des fractures du fémur. Au cours d'une telle chirurgie, le patient et le chirurgien sont exposés à une grande quantité de rayonnement, ce qui est nocif pour leur santé. La chirurgie orthopédique assistée par ordinateur est une approche moins invasive pour sa capacité à réduire l'utilisation de l'amplificateur de brillance. W. Wei [18] dans son travail de doctorat a conçu des systèmes robotiques hybrides de haute précision avec une application pour la microchirurgie ophtalmique. D. Liu [19] a présenté un robot hybride à 9 degrés de liberté pour la chirurgie guidée par tomodensitométrie. Une expérience clinique simulée a montré que la précision de localisation du robot hybride atteint 1,08 mm, ce qui peut répondre aux exigences de la chirurgie guidée par CT.

### **I.7.5 Espace de travail du robot hybride**

T. Tanev [20] a présenté un algorithme pour la détermination de l'espace de travail d'un nouveau type de système de manipulation hybride est proposé dans l'article. Cet algorithme est basé sur la solution de forme fermée obtenue du problème de cinématique inverse pour le manipulateur hybride. Les espaces de travail accessibles et adroits déterminés sont présentés graphiquement. La connaissance de l'espace de travail est importante pour la conception, la planification de trajectoire et l'application des manipulateurs.

## **I.8 Conclusion**

Dans ce chapitre, nous fournissons un bref historique des robots en général avec leurs caractéristiques, puis proposons quelques définitions utiles des robots manipulés avec des structures en série et parallèles, ainsi que la structure mécanique des robots manipulés. Constituée de plusieurs corps reliés entre eux par des articulations appelées 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.

Enfin on termine par la présentation de quelques exemples de robots hybride

# **II Chapitre II : Descriptif technique des robots hybrides 3D**

La robotique parallèle est peut-être beaucoup moins développée que la robotique série. Cependant, les recherches dans ce domaine ne cessent de croître, notamment parce qu'il attire davantage les entreprises et les chercheurs, prouvant l'intérêt grandissant qu'il suscite, que parce qu'il peut offrir plusieurs avantages par rapport à leurs homologues en série, comme des capacités dynamiques élevées et une rigidité structurelle élevée.

Les difficultés théoriques doivent être repensées, car la conception des manipulateurs parallèles est très différente de celle utilisée pour les manipulateurs à liaison série. D'autre part, en raison de ses caractéristiques, il pourrait devenir une solution une meilleure solution pour résoudre de nombreux problèmes industriels, en particulier sur les processus d'usinage [21][22].

En fait, toutes les tâches industrielles ne nécessitent pas 6-DOF ou 4-DOF puisque comme pour certaines tâches plus simples La traduction 2-DOF est suffisante. À partir de ce point, nous décrirons la structure et le mécanisme du système que nous voulons concevoir et nous continuerons ce chapitre par une description géométrique utile de la vitesse, de la singularité, de l'étalonnage et de l'espace de travail que nous les utilisons dans notre système.

## 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 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, [23].

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. Nous pouvons continuer.

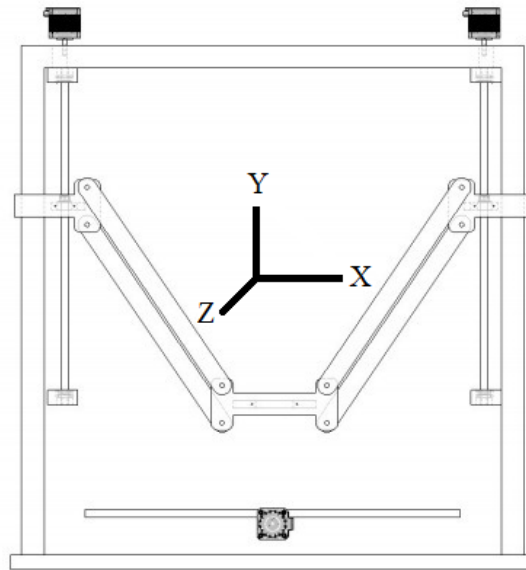


Figure II.1 - Modèle CAO de la machine

### II.3 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.4 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.4.1 Analyze de position

À partir de la Figure II.1, nous pouvons simplifier le modèle de chaîne en un lien  $A_i B_i$  ( $i=1$  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  $r_{A_i}$  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 :

$$r_{O'} = [xy \ z]^T \quad (\text{II-1})$$

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

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

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

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

$$r_{A_i} = r_{O'} + r'_{A_i} \quad (\text{II-4})$$

On pose  $y = q$  alors, le vecteur position de position articulaire  $B_i$  en  $O_{xy}$  est :

$$B_1 = (-R, q_1) \rightarrow r_{B_1} = [-Rq_1]^T \quad (\text{II-5})$$

$$B_2 = (R, q_2) \rightarrow r_{B_2} = [Rq_2]^T \quad (\text{II-6})$$

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

$$r_{A_i} - r_{B_i} = l_i n_i, \quad i = 1, 2 \quad (\text{II-7})$$

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:

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

8

$$x = ay + b + c$$

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 III.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 :

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

## II.5 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  $l_1 \ll 2R$ , 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.

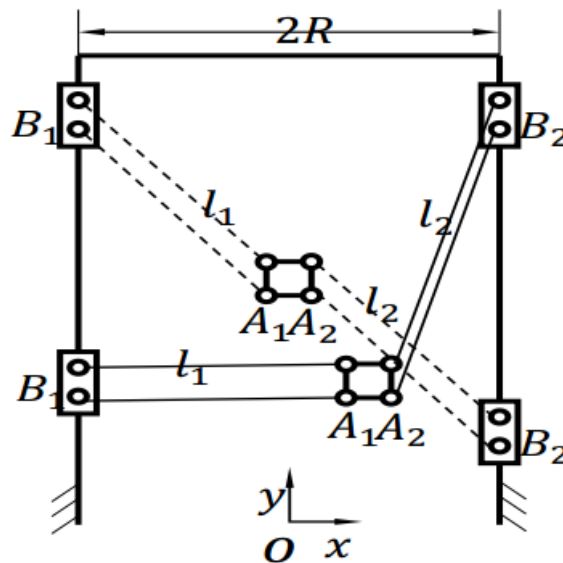


Figure II.2- Configurations singulières

## II.6 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 plate-forme mobile  $O'$  par dérivée.

Par conséquent, l'espace de travail accessible de ce point ( $O'$ ) est l'intersection des sous-espaces de travail associés aux deux chaînes cinématiques, comme le montre la Figure II.3

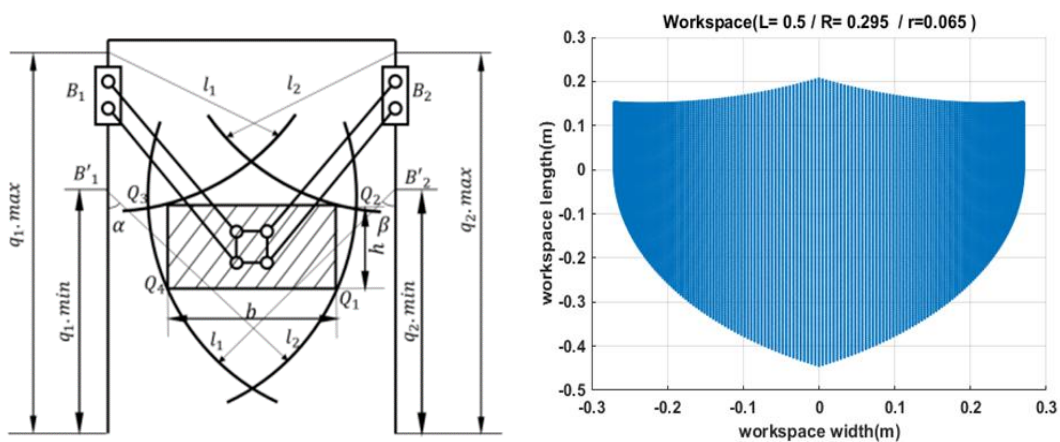


Figure II.3 - Espace de travail du manipulateur

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.7 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.8 Conclusion

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.

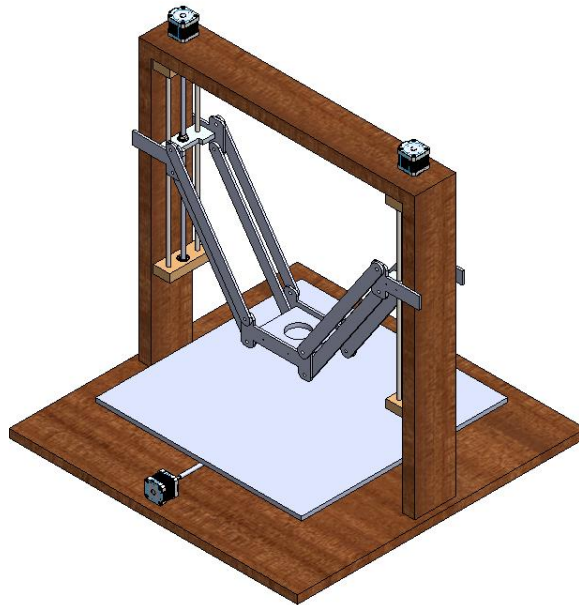
La partie principale de cette description est l'étude cinétique. C'est une position et une vitesse moyennes car elles nous aident à trouver l'espace de travail utile sur lequel nous travaillons. De plus, puisque nous voulons économiser la possibilité de contrôler la rigidité normale des contrôleurs, 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.

# **III Chapitre III : Réalisation d'une machine hybride 3 ddl**

### III.1 Introduction

Concevoir un robot hybride n'est pas une tâche facile, car les robots hybrides offrent des possibilités intéressantes, mais choisir une structure, une géométrie et des éléments mécaniques différents pour obtenir un manipulateur qui répond aux spécifications qui définissent les limites de l'exemple de fonctionnement : espace de travail, précision, exécution vitesse...etc. Difficile.

Dans ce chapitre, nous proposons la structure d'un robot 3D et donnons une description générale de sa structure, reconnaissant les différentes parties de nos machines, avec ces parties conçues par un logiciel de CAO (SolidWorks). Ensuite, nous avons assemblé toutes les pièces mécaniques et électriques du robot hybride. Enfin, nous présenterons le schéma de contrôle de notre système où nous utilisons la carte Arduino pour effectuer le contrôle moteur du robot.



*Figure III.1- Robot hybrid en Solid work*

### III.2 [1<sup>ère</sup> partie] : Conception et réalisation pratique le robot hybride

Un robot hybride est un assemblage de structures parallèles et en série. Nous montrons ci-dessous la conception et la mise en œuvre pratique d'un robot hybride.

#### ➤ La base

- **MOTEUR Linéaire**
- **Le tige lisse de guidage linéaire.**
- **Moteur pas à pas**
- **Roulement**
- **Arbre creux**
- **Tige Filetée Trapézoïdale Précision**
- **Coupleur souple**
- **Écrou épaulé**
- **Les bras**
- **Tirette de tiroir**
- **Table mobile**
- **La nacelle**
  - **La base**

C'est la partie inférieure et supérieure de la structure et son rôle est de soulever les charges de construction et de s'assurer qu'elles sont fixées

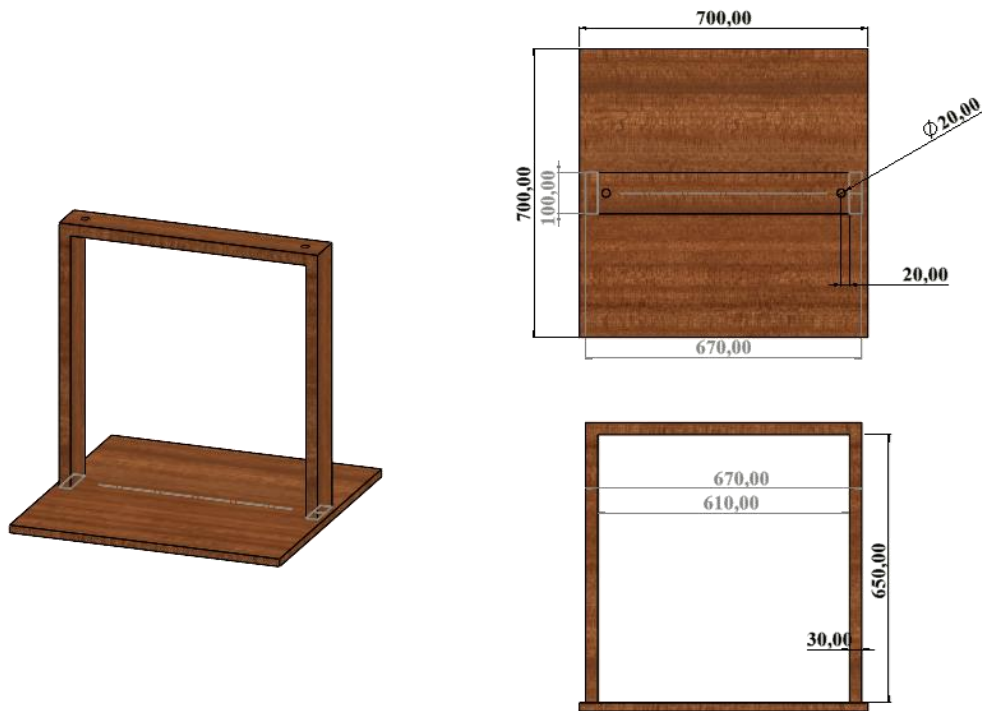
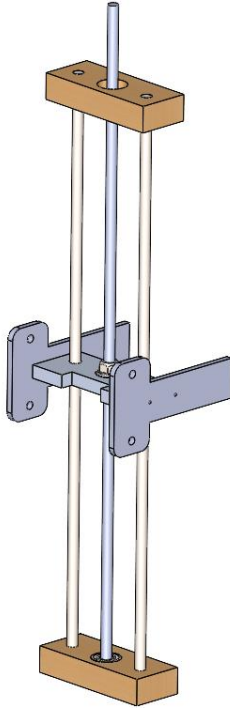


Figure III.2-La base

➤ **MOTEUR Linéaire**

Rail de guidage linéaire : permet de fixer les parties inférieure et supérieure de la base.  
De plus, assurez-vous de créer rapidement des déclencheurs linéaires.



A : La photo en Solid Work



B : image réelle

Figure III.3 -MOTEUR Linéaire

➤ **Le tige lisse de guidage linéaire**

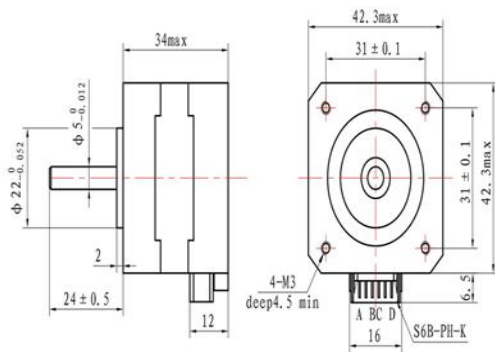
Axe linéaire dans le dispositif rotatif automatique répandu Utilisé, comme les robots industriels, enregistrement automatique Machines, ordinateurs, micro-imprimantes et gaz spéciaux Citerne et autres machines automatiques et industrielles pour le travail du bois Machines. En raison de sa dureté, il peut être prolongé Durée de vie ordinaire de la machine.



Figure III.4-Le tige lisse de guidage linéaire

➤ **Moteur pas à pas**

Le moteur pas à pas hybride emprunte au moteur à aimant permanent et à la machine à réluctance variable. C'est donc à réluctance variable mais avec rotor à aimants permanents. L'avantage est qu'il y a un très grand nombre d'étapes.



A : La photo en Solid Work

B : image réelle

Figure III.5-Moteur pas à pas

➤ **Roulement**

Les roulements rigides à billes à une rangée sont particulièrement polyvalents. Ils sont de conception simple, non démontables, adaptés aux hautes voire très hautes cadences, robustes en fonctionnement et nécessitent peu d'entretien. Les rainures de piste de course et un ajustement serré entre les rainures de piste de course et les roulements à billes permettent aux roulements à billes à gorge profonde de supporter des charges axiales dans les deux sens, ainsi que des charges radiales, même à des vitesses élevées.

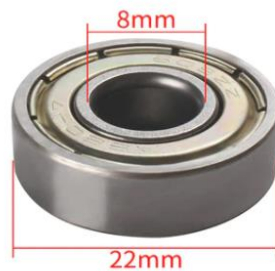


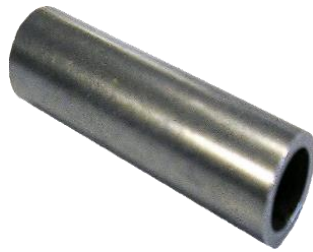
Figure III.6- Roulement

➤ **Arbre creux**

La conception spéciale de l'arbre creux permet essentiellement de réaliser d'énormes économies de poids qui s'avèrent souvent bénéfiques d'un point de vue tant constructif que fonctionnel. De plus, l'aspirateur à colonne creuse présente un autre avantage : le gain de

place. Des éléments de système, des supports ou même des éléments de machine supplémentaires tels que des essieux et des arbres peuvent être intégrés dans l'arbre creux ou fournir un canal avec cet espace supplémentaire.

L'arbre creux est un élément essentiel de la boîte de vitesses à arbre creux qui est utilisée dans les véhicules à propulsion électrique tels que les trains notamment. Les arbres creux peuvent également être utilisés dans la construction d'appareils ou d'automates.



*Figure III.7-Arbre creux*

#### ➤ **Tige Filetée Trapézoïdale Précision**

Cette tige filetée trapézoïdale possède deux embouts forgés de 8mm (embouts 8mm non filetés) vous permettant de les relier, via des coupleurs souples, à l'arbre de votre moteur pas à pas.

L'avantage de ce profil, c'est qu'il supporte mieux les traitements thermiques car la crête du filetage est plus large. On peut donc obtenir des vis avec une surface plus dure, donc plus résistante à l'usure et présentant moins de frottement. Il est donc adapté aux vis de manœuvre sur lesquelles

L'écrou glisse sans arrêt alors que pour une vis de fixation, l'écrou ne coulisse que lors du serrage. On le retrouve donc dans les étaux, les presses, les serre-joints à vis, les crics et les machines-outils. La vis est généralement associée à un écrou dont le matériau présente de bonnes qualités de frottement (alliage de cuivre, Acétal...).



*Figure III.8- Tige Fileté Trapézoïdale Précision*

➤ **Coupleur souple**

Un coupleur souple permet de rattraper les défauts d'alignement entre l'arbre du moteur et l'arbre qu'il entraîne (la vis dans notre cas). Cela permet notamment de réduire les efforts sur les roulements du moteur et donc d'augmenter sa durée de vie.

La vis est ainsi libre de se déplacer et elle n'entraîne plus le chariot avec lui.

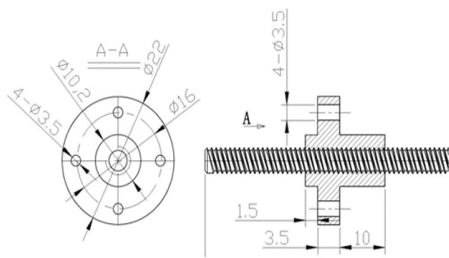
Notez qu'il y a d'autres façons de résoudre le problème. Déjà si on a une vis bien droite, il ne se manifeste pas. Ensuite au lieu de rendre flottante la vis, on peut rendre l'écrou flottant mais c'est plus compliqué à réaliser car l'écrou doit pouvoir se déplacer tout en étant bloqué en rotation.



*Figure III.9- Coupleur souple*

➤ **Écrou épaulé**

Écrou épaulé pour tiges filetées trapézoïdales 8 mm Cet écrou épaulé est compatible avec toutes nos tiges filetées trapézoïdales de diamètre 8 mm

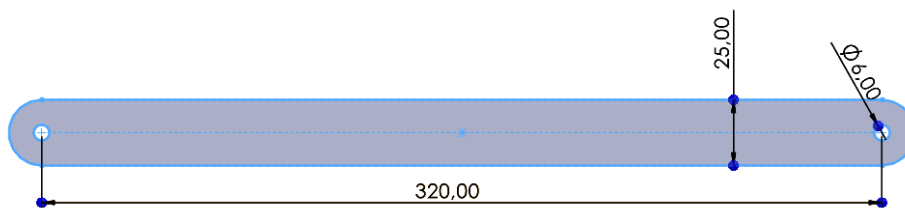


A : La photo en Solid Work

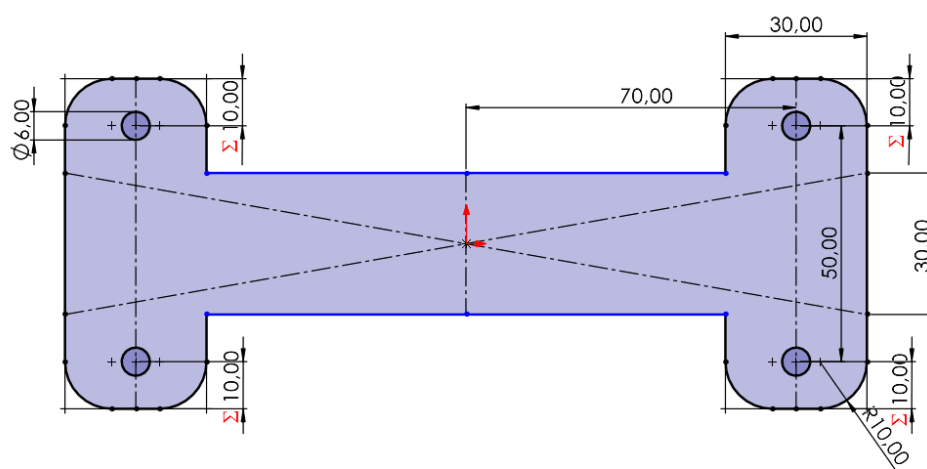
B : image réelle

Figure III.10- Écrou épaulé

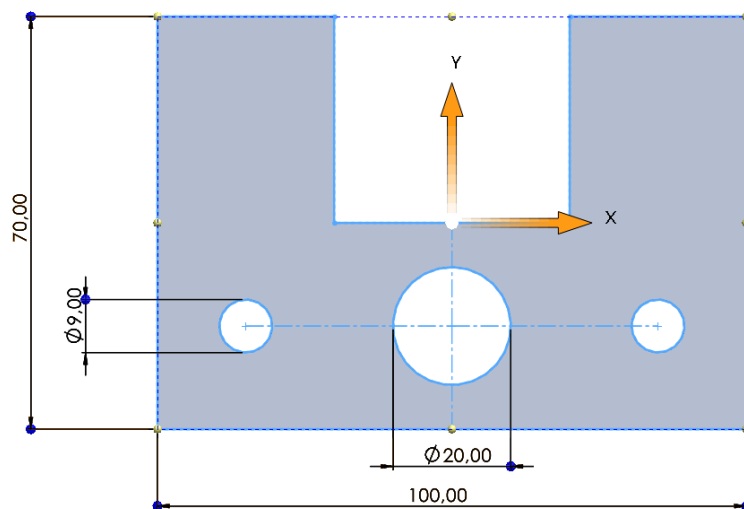
➤ Les bras



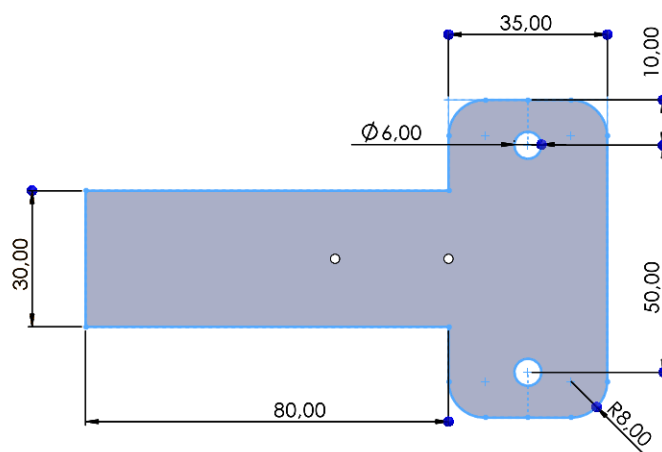
A



B



C



D

Figure III.11- Les bras en SolidWorks

### ➤ Tirette de tiroir

Glissières de tiroir Dayan, rail télescopique à extension complète 3 fois, barre coulissante à billes, avec fonction de verrouillage / verrouillage à clip, longueur 40 cm



*Figure III.12- Tirette de tiroir.*

➤ **Table mobile**

La table mobile est une pièce de bois carrée de 45 cm de long qui se déplace sur l'axe y, et son rôle est de porter la chose à travailler.



*Figure III.13- table mobile*

➤ **La nacelle**

SolidWorks est un logiciel de conception assistée par ordinateur capable de modéliser des objets en 3D. Il est utilisé par les ingénieurs et les designers travaillant dans l'industrie pour concevoir les objets de demain.



*Figure III.14- Logo du programme SolidWorks*

### III.3 [2eme partie] command Composants électriques et électroniques

Dans ces paragraphes nous parlons des composants électriques et électroniques pratiques des différentes parties du robot hybride :

#### ➤ La case de command

- Arduino UNO R3
- Bouclier CNC V3
- A4988 Stepper Motor Driver Module

#### ➤ Arduino UNO R3

L'Arduino UNO R3 est la carte idéale pour se familiariser avec l'électronique et le codage. Ce microcontrôleur polyvalent

Est équipé du célèbre processeur ATmega328P et du processeur AT Méga 16U2.

Cette carte vous donnera une excellente première expérience dans le monde d'Arduino.

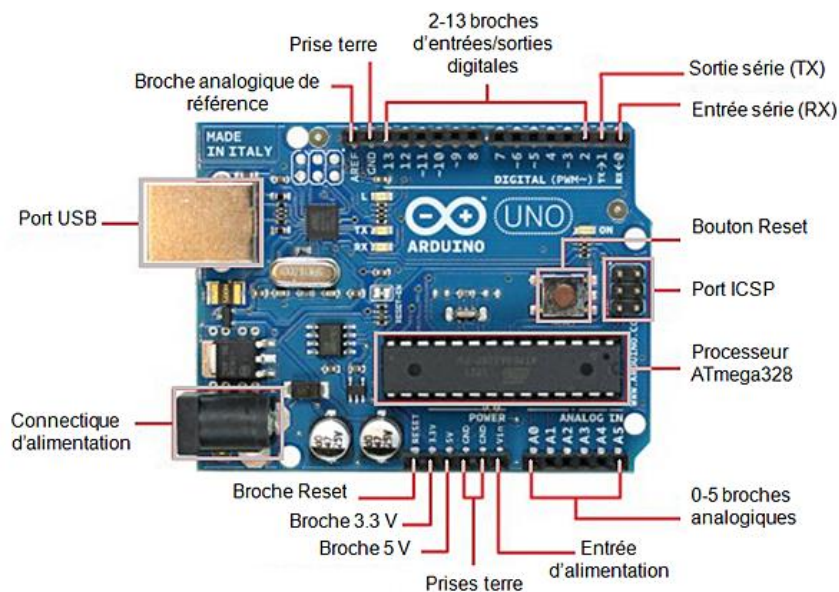


Figure III.15- Arduino UNO

#### ➤ Bouclier CNC V3

Le CNC Shield V3 est une carte d'extension pour Arduino UNO ou Méga permettant de s'interfacer facilement à des contrôleurs de moteur pas-à-pas, type A8825. Il permet aussi de piloter et gérer les éléments nécessaires au fonctionnement d'une fraiseuse numérique (CNC). C'est-à-dire, des fins de course (end stops), ventilateur, etc.

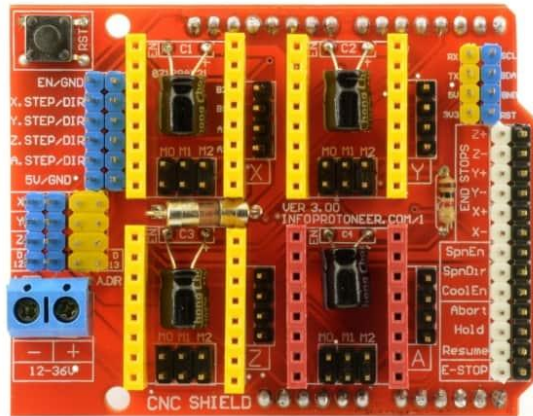


Figure III.16- Boucle CNC V3

➤ **8825 Stepper Motore Driver Module**

Le 8825 est un pilote de micro-lecteur complet avec un traducteur intégré pour une utilisation facile. Le pilote a une puissance de sortie maximale de 35 V, ± 2 A, et peut piloter des moteurs pas à pas bipolaires en mode plein, demi, quart, huitième et seizième pas.

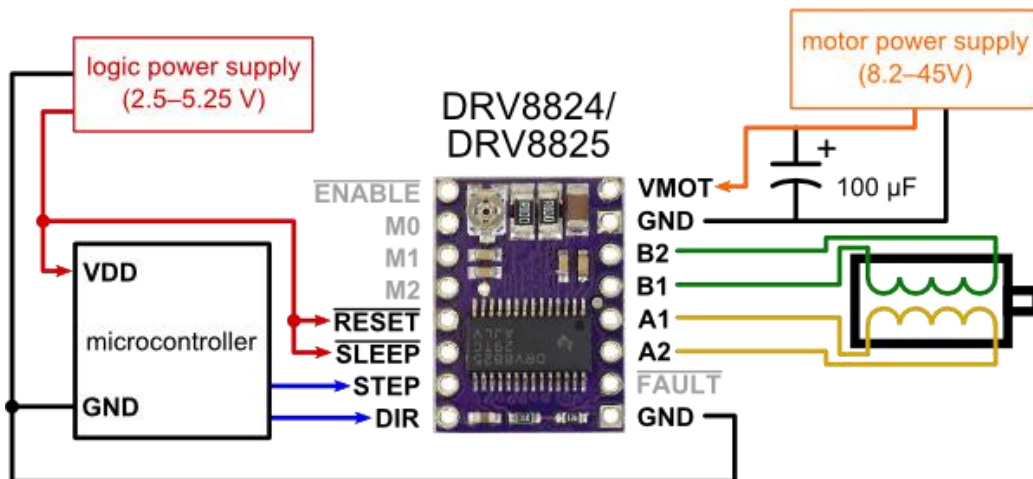


Figure III.17- 8825 Stepper Motor Driver Module

➤ **SOURCE DE COURANT**

L'alimentation est symbolisée par le symbole (PSU) et désigne le bloc d'alimentation, qui est un composant vital qui alimente et alimente tous les composants et éléments de l'ordinateur avec l'énergie électrique nécessaire pour fonctionner de manière dynamique et dynamique. L'alimentation ne se limite pas à fournir uniquement de l'électricité à l'ordinateur, elle effectue également un processus de régulation important pour l'ordinateur. L'alimentation convertit le courant alternatif (AC) provenant de l'interrupteur électrique normal en un courant constant (DC), donc qu'il peut alimenter l'ordinateur avec diverses tensions de

courant constant (3,3 V + 5 V + 12 V + 12 V-) nécessaires pour faire une monnaie à destination la plus complète



*Figure III.18- SOURCE DE COURANT*

➤ **Logiciel de programmation Arduino UNO**

La carte Arduino programmé par l'environnement Arduino UNO

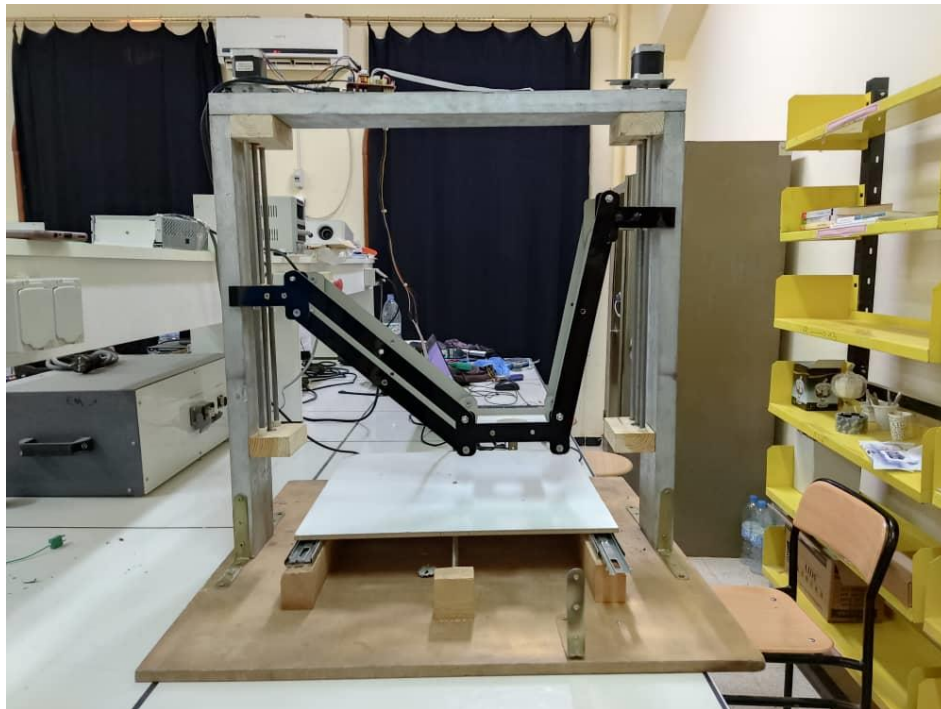


*Figure III.19- Arduino programmé*

## III.4 Expérimentation et Résultats

### III.4.1 Les différences modes de command

L'ensemble d'images ci-dessous montre l'utilisation de l'interface graphique de contrôle du robot selon plusieurs programmes



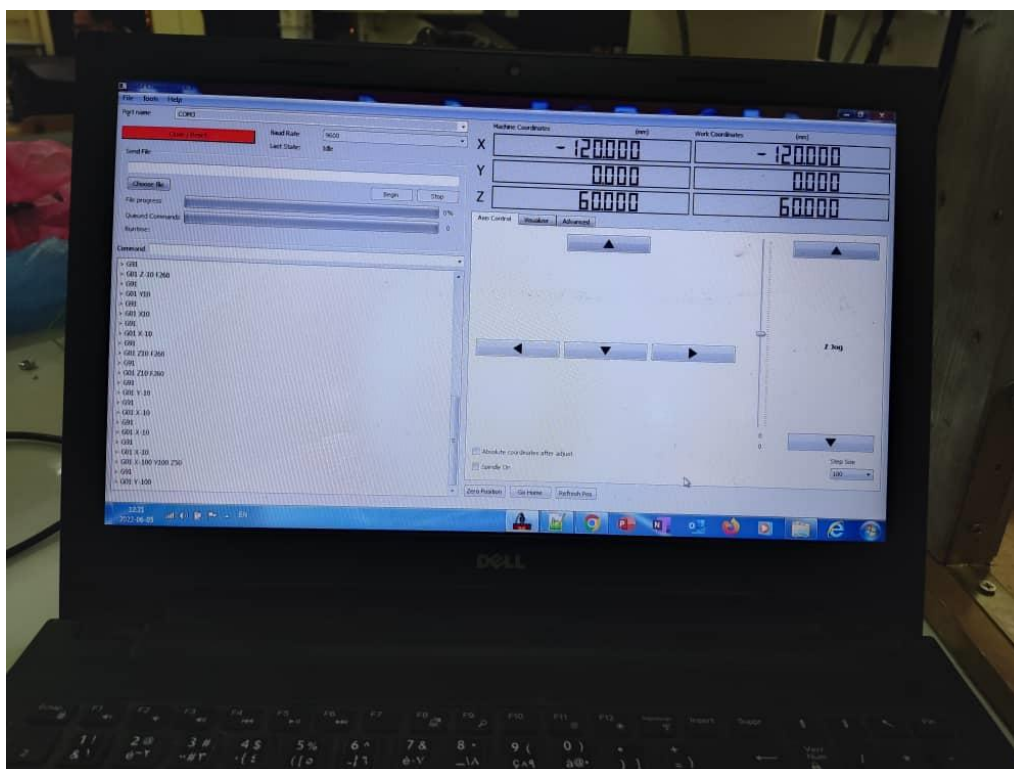
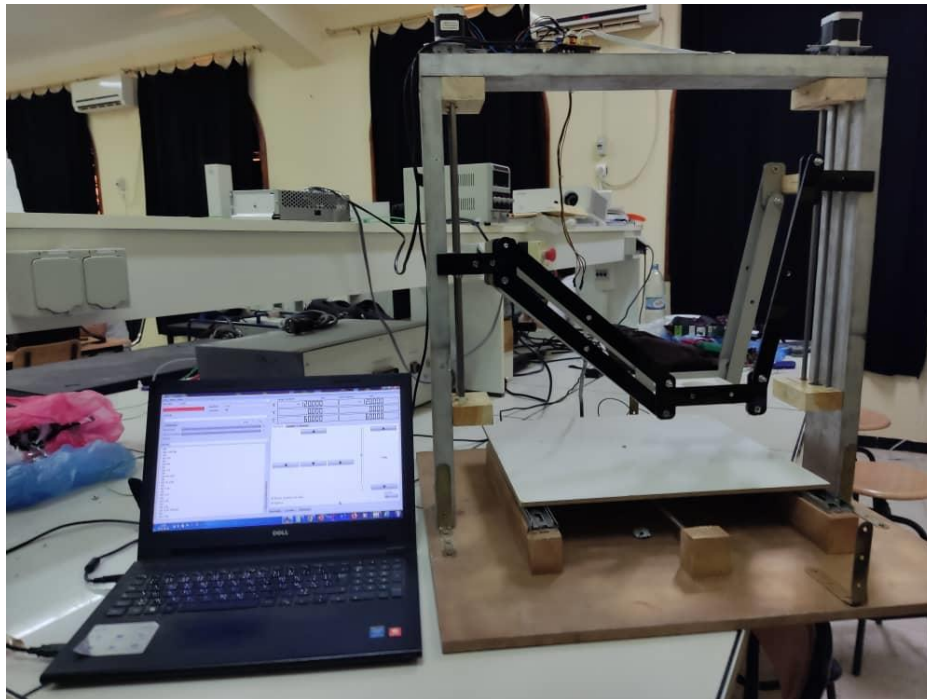


Figure III.20 logiciel de contrôle de robot Grbl control

```

GCTRL_Hyprid | Processing 4.0b8
مساعدة أدوات تنقيح المخطوط تعديل ملف

GCTRL_Hyprid
162 speed = 100;
163 println(speed);
164 }
165
166 if (!streaming) {
167   if (keyCode == LEFT) port.write("G91 X-" + speed + " \n");
168   if (keyCode == RIGHT) port.write("G91 X" + speed + " \n");
169   if (keyCode == UP) port.write("G91 Y" + speed + " \n");
170   if (keyCode == DOWN) port.write("G91 Y-" + speed + " \n");
171   if (keyCode == KeyEvent.VK_PAGE_UP) port.write("G91 Z" + speed + " \n");
172   if (keyCode == KeyEvent.VK_PAGE_DOWN) port.write("G91 Z-" + speed + " \n");
173   if (key == 'h') port.write("G01 X0.000 Y0.000 Z0.000 \n");
174   if (key == 'v') port.write("$0=75\n$1=74\n$2=75\n");
175   //if (key == 'v') port.write("$0=100\n$1=74\n$2=75\n");
176   if (key == 's') port.write("$3=10\n");
177   if (key == 'e') port.write("$16=1\n");
178   if (key == 'd') {printPath();reSetup();}
179   if (key == 'o') openSerialPort();
180   if (key == 'p') selectSerialPort();
181   if (key == '$') port.write("$$\n");
182   if (key == 't') {
183     selectXY();
184     port.write(Position+"\n");
185   }
186 }
187
188 if (!streaming && key == 'g') {

```

Figure III.21- Programme de contrôle de robot (pressing 4.0)

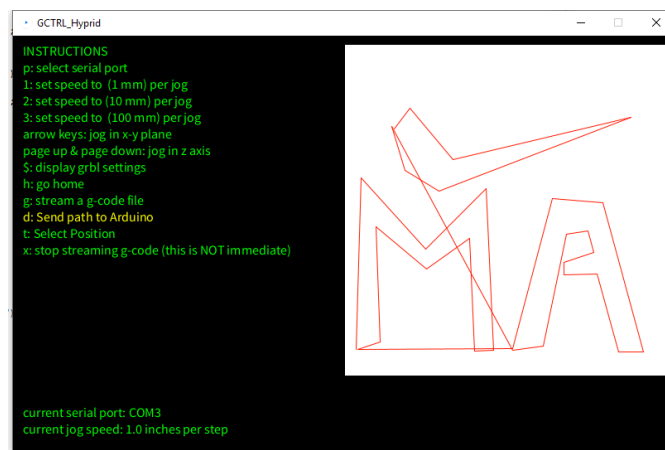


Figure III.22- Résultat graphique de test (MA)

# Conclusion générale

En écrivant cette note, nous avons pu approfondir et enrichir nos connaissances dans le domaine de la robotique.

Il nous a fallu faire de gros efforts pour enfin pouvoir mettre en place ce projet qui fonctionne parfaitement. Nous avons rencontré de nombreuses difficultés lors de ce projet concernant la réalisation d'un robot à trois degrés de liberté et parmi les problèmes que nous avons rencontrés.

Le problème de la construction mécanique du robot pour choisir la configuration la plus appropriée

- ✓ Le problème de la pénurie de matériaux sur le marché
- ✓ Étudier et comprendre le système (conception et schéma)
- ✓ Programmation Arduino sous MATLAB

Utilisez des pièces de conception de hanche solides

Dans ce travail, nous avons introduit des concepts de robotique de base importants pour le projet Comprendre la robotique. Une définition générale a été donnée aux robots industriels et ses principales caractéristiques y ont été présentées, car nous avons mentionné les types les plus importants de robots série, parallèles et hybrides, et c'est la chose la plus importante dans notre étude et ses détails.

Nous avons présenté la modélisation géométrique et cinétique du robot hybride. Dans un premier temps, nous définissons le robot hybride. La modélisation géométrique est basée sur le calcul du modèle géométrique qui est simple et unique et ce calcul nous a permis de tracer une certaine configuration du robot. La modélisation cinétique nous a permis de calculer le modèle cinématique du robot hybride, et le résultat obtenu est vérifié par simulation effectuée sur le programme de commande.

Finalement, nous avons présenté une conception mécanique pour le robot hybride, qui a plusieurs spécifications, telles que l'espace de travail, la vitesse et la précision, car le but de la conception est d'obtenir un robot intégré.

# References

- [1] P. Wenger, “Advances in Robot Kinematics,” *Adv. Robot Kinemat.*, no. November 2013, 2002, doi: 10.1007/978-94-017-0657-5.
- [2] E. Özgür, “From lines to dynamics of parallel robots.” Université Blaise Pascal-Clermont-Ferrand II, 2012.
- [3] “SERIAL AND PARALLEL ROBOT MANIPULATORS – KINEMATICS , DYNAMICS , CONTROL AND Edited by Serdar Küçük.” 2012.
- [4] J. P. Merlet, “Parallel manipulators: state of the art and perspectives,” *Adv. Robot.*, vol. 8, no. 6, pp. 589–596, 1993, doi: 10.1163/156855394X00275.
- [5] Sébastien Briot and W. Khalil, *Dynamics of Parallel Robots*, vol. 35, no. 0. 2015.
- [6] A. Maria, “Introduction to modeling and simulation,” in *Proceedings of the 29th conference on Winter simulation*, 1997, pp. 7–13.
- [7] W. Khalil, O. Ibrahim, W. Khalil, and O. Ibrahim, “General Solution for the Dynamic Modeling of Parallel Robots To cite this version : HAL Id : hal-00401684 General Solution for the Dynamic Modeling of Parallel Robots \*,” 2009.
- [8] 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.
- [9] J. Lenarcic and P. Wenger, *Advances in robot kinematics: analysis and design*. Springer, 2008.
- [10] 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.
- [11] 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.
- [12] Y. Lou, G. Liu, and Z. Li, “A General Approach for Optimal Design of Parallel Manipulators,” *IEEE Trans. Autom. Sci. ...*, vol. X, no. X, pp. 1–16, 2005, [Online].

Available: <http://ai.stanford.edu/~liugf/TRO-LLL.pdf>.

- [13] I. A. Bonev and C. M. Gosselin, “Geometric analysis of parallel mechanisms,” p. 189, 2002.
- [14] 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.
- [15] 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.
- [16] S. Abdelhalim, “MODÉLISATION ET COMMANDE D ’ UN ROBOT PARALLÈLE DESTINE A UN SIMULATEUR DE VOL 1,” vol. 1, 2011.
- [17] A. Pashkevich *et al.*, “The Orthoglide : Kinematics and Workspace Analysis To cite this version ;,” 2007.
- [18] J. M. I. S. Bp and S. Cedex, “D ’ etermination de l ’ espace de travail d ’ un robot parall ` ele pour une orientation constante Complexit ´ e de repr ´ esentation de l ’ espace de travail.”
- [19] 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.
- [20] C. Baradat, V. Nabat, O. Company, S. Krut, and F. Pierrot, “Par2 : a Spatial Mechanism for Fast Planar , 2-dof , Pick-and-Place Applications,” *Proc. Second Int. Work. Fundam. Issues Futur. Res. Dir. Parallel Mech. Manip.*, vol. 46, no. 1, pp. 1–10, 2008.
- [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] Y. Lou, G. Liu, and Z. Li, "A General Approach for Optimal Design of Parallel Manipulators," *IEEE Trans. Autom. Sci. ...*, vol. X, no. X, pp. 1–16, 2005, [Online]. Available: <http://ai.stanford.edu/~liugf/TRO-LLL.pdf>.
- [25] I. A. Bonev and C. M. Gosselin, "Geometric analysis of parallel mechanisms," p. 189, 2002.
- [26] 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.
- [27] 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.
- [28] S. Abdelhalim, "MODÉLISATION ET COMMANDE D ' UN ROBOT PARALLÈLE DESTINE A UN SIMULATEUR DE VOL 1," vol. 1, 2011.
- [29] A. Pashkevich *et al.*, "The Orthoglide: Kinematics and Workspace Analysis To cite this version:" 2007.
- [30] J. M. I. S. BP and S. Cedex, "D ´ etermination de l ´ espace de travail d ´ un robot pallel ` elle pour une orientation constante Complexit ´ e de repr ´ esentation de l ´ espace de travail."
- [31] 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.

**Titre du mémoire :** Analyse et contrôle de machine cinématique parallèle hybride.

**Mots clés :** Robot Parallèle, Robot série, Robot hybride, Modèle géométrique et cinématique.

## Résumé

Cette thèse porte sur la conception optimale du robot hybride à trois degrés de liberté, suivie d'une réalisation d'une étude géométrique et cinétique de ce système. Dans cette étude, nous avons sélectionné un robot pour obtenir les paramètres géométriques d'une machine à cinématique hybride, nous introduisons une modélisation dimensionnelle et cinématique de la structure choisie, et cette étape reste très importante puisque les paramètres de performance d'une structure donnée dépendent fortement de la dimensionnalité de ses paramètres géométriques. Suivi d'une formulation du problème d'optimisation prenant en compte les performances du moteur comme critère de performance. Enfin, nous présentons les différentes étapes de construction d'un robot hybride, avec une modélisation 3D mise en œuvre à l'aide du logiciel SolidWorks.

---

**Report title:** Analysis and control of hybrid parallel kinematic machine.

**Key words:** Parallel Robot, hybrid Robot, Serie Robot, Geometric and Kinematic Model.

## Abstract

This thesis focuses on the optimal design of the hybrid robot with three degrees of freedom, followed by a realization of a geometric and kinetic study of this system. In this study, we selected a robot to obtain the geometric parameters of a machine with hybrid kinematics, we introduce dimensional and kinematic modeling of the chosen structure, and this step remains very important since the performance parameters of a given structure strongly depend on the dimensionality of its geometric parameters. Followed by formulation of the optimization problem taking into account the motor performance as performance criteria. Finally, we present the different stages of building a hybrid robot, with 3D modeling implemented using SolidWorks software.

---

---

عنوان المذكرة: التحليل والتحكم في الآلة الحركية المتوازية الهجينة.

الكلمات المفتاحية: روبوت المتوازي، روبوت هجين، روبوت تسلسلي، نموذج هندسي وحركي.

## ملخص

تركز هذه الأطروحة على التصميم الأمثل للروبوت الهجين بثلاث درجات من الحرية، متبوعًا بإدراك دراسة هندسية وحركية لهذا النظام. في هذه الدراسة، اخترنا روبوتًا للحصول على المعلمات الهندسية لآلة ذات حركية هجينة، ونقدم نمذجة الأبعاد والحركية للبنية المختارة، وتظل هذه الخطوة مهمة للغاية لأن معلمات الأداء لهيكل معين تعتمد بشدة على الأبعاد من المعلمات الهندسية. تليها صياغة مشكلة التحسين مع الأخذ بعين الاعتبار أداء المحرك كمعايير للأداء. أخيرًا، نقدم المراحل المختلفة لبناء روبوت هجين، مع تنفيذ النمذجة ثلاثية الأبعاد باستخدام برنامج

SolidWorks