

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de L'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

UNIVERSITE MOULOUD MAMMARI DE TIZI-OUZOU



FACULTE DE GENIE ELECTRIQUE ET D'INFORMATIQUE
DEPARTEMENT D'AUTOMATIQUE

**Mémoire de Fin d'Etude (s)
de MASTER ACADEMIQUE**
Spécialité : **Commande des systèmes**
Filière : **Génie électrique**

Présenté par
TONKIN Massinissa
OUHARCHAOU Hamidouche

Mémoire dirigé par **M. MELLAH Rabah**

Thème

**Planification de trajectoire pour un robot
mobile Dr. Robot I90**

Mémoire soutenu publiquement le 26/09/2017 devant le jury composé de :

M Saïd GUERMAH

MCA, UMMTO, Président

M Rabah MELLAH

Professeur, UMMTO, Rapporteur

M Ahmed MAIDI

Professeur, UMMTO, Examineur

M Mohamed ALI-BEY

MCB, UMMTO, Examineur

Remerciements

Nous tenons à remercier notre DIEU, le tout puissant, de nous avoir donné la santé et la volonté pour compléter ce modeste travail.

Au terme de ce modeste travail nous tenons à remercier chaleureusement tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce projet de fin d'étude.

Nous tenons à remercier notre promoteur, monsieur Mellah Rabah, pour ses conseils précieux et pour toutes les commodités et aisances qu'il nous a apportées durant notre étude et réalisation de ce projet.

Tout notre respect et nos remerciements vont vers les membres de jury qui vont pleinement consacrer leurs temps et leurs attention afin d'évaluer notre travail, qui espérons le sera à la hauteur de leurs attente.

Tous nos infinis remerciements vont à tous les enseignants qui ont contribué à notre formation durant notre cursus universitaire.

Et enfin, que nos chers parents et familles, et bien avant tout, trouvent ici l'expression de nos remerciements les plus sincères et les plus profonds en reconnaissance de leurs sacrifices, aides, soutien et encouragement afin de nous assurer cette formation dans les meilleurs condition.

Dédicaces

A mes parents

Pour les sacrifices déployés à mon égard; pour leur patience

Leur amour et confiance en moi.

Ils ont tout fait pour mon bonheur et ma réussite, qu'ils trouvent dans ce modeste travail, le témoignage de ma profonde affection et de mon attachement indéfectible.

Nulle dédicace ne puisse exprimer ce que je leur doit.

Que dieu leur réserve la bonne sante et une longue vie.

A mon frère et ma sœur

A mon oncle

A ma grande famille

A mes amis

En témoignage de mes sincères reconnaissances pour les efforts qu'ils ont consentis pour me soutenir au cours de mes études.

A tous mes camarades de la promotion « automatique »

2016/2017

MASSINISSA

Dédicaces

A mes parents

Pour les sacrifices déployés à mon égard; pour leur patience

Leur amour et confiance en moi.

Ils ont tout fait pour mon bonheur et ma réussite, qu'ils trouvent dans ce modeste travail, le témoignage de ma profonde affection et de mon attachement indéfectible.

Nulle dédicace ne puisse exprimer ce que je leur doit.

Que dieu leur réserve la bonne sante et une longue vie.

A mes frères et sœurs

A mes oncles

A ma grande famille

A mes amis

En témoignage de mes sincères reconnaissances pour les efforts qu'ils ont consentis pour me soutenir au cours de mes études.

A tous mes camarades de la promotion « automatique »

2016/2017

HAMIDOUCHE

Liste des figures

Figure I.1 : Roue centrée et roue décentrée.....	7
Figure I.2 : Roues tronco-sphérique et suédoise.....	8
Figure I.3 : Modélisation du robot dans le repère absolu.....	9
Figure I.4 : Robot mobile de type unicycle.....	10
Figure I.5 : Centre instantané de rotation d'un robot de type unicycle.....	10
Figure I.6 : Robot mobile de type tricycle.	12
Figure I.7 : un robot mobile de type tricycle et son CIR.....	12
Figure I.8 : Un robot mobile de type voiture et son CIR.....	13
Figure I.9 : représentation d'un robot mobile omnidirectionnel.....	14
FigureII.1: <i>Dr.RobotI90</i>	15
Figure II.2: Roue motrice.....	18
Figure II.3 : Roue folle.....	18
Figure II.4: Module de contrôle DM5253.....	19
Figure II.5 : Module à ultrason DUR5200.....	21
Figure II.6 : Module à infrarouge GP2Y0A21YK.....	22
Figure II.7 : Caméra panoramique PTZ.....	22
Figure II.8 : Module capteur d'accélération-DTA5102.....	23
Figure II.9 : Module détecteur de mouvement humain-DHM5150.....	24
Figure II.10 : LED.....	25
Figure II.11 : Câble de connexion.....	25
Figure II.12 : contrôleur du mouvement et des sensations du robot_PMS5005-.....	26

Liste des figures

Figure II.13 : Contrôleur Multimédia-PMB5010.	27
Figure II.14 : Interface MCR3210.....	27
Figure II.15 : Module WFS802G série (802.11g).....	28
Figure II.16 : L'architecture du système du robot.	30
Figure III.1 : Capteur ultrason.....	34
Figure III.2 : Exemple d'un télémètre laser.	35
Figure III.3 : Télémétrie par triangulation.....	35
Figure III.4 : Les différentes configurations de l'espace.	37
Figure III.5 : Relation d'adjacence.	39
Figure III.6 : Contournement dans le cas de la méthode myopique.	41
Figure III.7 : Principe d'évolution d'un robot mobile par la méthode de champs de potentiel.....	41
Figure III.8 : Courbe de Bézier avec 4 points de controles.	42
Figure IV.1 : Repère d'un robot.....	45
Figure IV.2 : MATLAB : simulation d'un robot mobile en 2D.....	48
Figure IV.3 : MATLAB : Résultat de simulation d'un robot mobile en 2D.	49

Introduction générale.....1

Chapitre I : Généralités sur la robotique mobile.

Introduction :.....2

I.1 définitions :.....3

 I.1.1 définition de la robotique :.....3

 I.1.2 définition d'un robot mobile :.....3

I.2 Historique de la robotique :.....3

 I.2.1 Les origines de la robotique :.....3

 I.2.2 Les premiers robots :.....4

 I.2.3 Dates marquantes de la robotique :.....4

I.3 Types des robots mobiles :.....5

 I.3.1 Robot mobile utilisant la chenille :.....5

 I.3.2 Robot mobile à pattes :.....6

 I.3.3 Robot mobile à roues :.....6

 a) Classification des types de roues :.....6

 b) Modélisation des robots mobiles :.....8

 c) Modélisation cinématique des robots mobiles selon leurs différentes catégories :.....9

 d) Modèle cinématique du robot unicycle :.....10

 e) Modèle cinématique du robot tricycle et voiture :.....11

 f) Modèle cinématique du robot omnidirectionnel :.....13

Conclusion :.....14

Chapitre II : Description du Dr. Robot I90.

Introduction :.....15

II.1 Définition :.....15

II.2 Caractéristiques:.....16

II.3 Architecture de robot :	16
II.4 modules matériels du robot mobile i90 :	17
II.4.1 Partie mécanique :	17
II.4.1.1 Châssis mécanique I 90-ME :	17
II.4.1.2 Moyens de locomotion :	17
II.4.1.3 Moteurs :	19
II.4.2 Partie électronique :	20
II.4.2.1 Capteurs :	20
II.4.2.2 LED :	25
II.4.2.3 Gestion de l'alimentation et le système de recharge :	25
II.4.2.4 Câble de connexion-CCR2150 :	25
II.4.2.5 Ecran couleur tactile LCD PDM19 50 :	26
II.4.3 Partie informatique :	26
II.4.3.1 Contrôleur du mouvement et des sensations du robot-PMS5005 :	26
II.4.3.2 Contrôleur Multimédia PMB5010 :	26
II.4.3.3 Interface MCR3210 :	27
II.4.3.4 Joystick de contrôle :	27
II.4.3.5 Communication wifi :	28
II.4.3.6 Modem :	28
II.5 Modules logiciels :	28
II.5.1 Logiciel SDK :	29
Conclusion :	31

Chapitre III : localisation et planification de trajectoire.

Introduction	32
III.1 Système de localisation:.....	33
III.1.1 La localisation du mobile	33

III.1.1.1 Localisation relative :.....	33
III.1.1.2 Localisation absolue :.....	33
III.1.2 La localisation de l'environnement.....	33
III.2.2.1 Les méthodes télémétriques.....	34
III.1.2.2 L'analyse d'image :	36
III.1.2.3 La localisation par contact :.....	36
III.2 Planification de trajectoire :	36
III.2.1 Principe de base :	36
III.2.2 Configuration de l'espace :	37
III.2.3 Construction du modèle de l'environnement :	38
III.2.3.1 Modélisation par grille :.....	38
III.2.3.2 Modèles géométrique :.....	38
III.2.4 L'approche globale :.....	39
III.2.4.1 Méthode de décomposition cellulaire	39
III.2.4.2 Méthode de vecteurs de traversabilité :	40
III.2.4.3 Méthode de roadmap :.....	40
III.2.5 L'approche locale :.....	40
III.2.5.1 Méthode myopique :.....	40
III.2.5.2 Méthode de champs de potentiel :	41
III.3 Méthode de Bézier :	42
Conclusion :.....	43

Chapitre IV : Simulation et résultats.

Introduction :.....	44
IV.1 Modélisation d'un robot mobile :	44
IV.2 Vecteur d'état :	46

IV.3 Vecteur de commande :	46
IV.4 planification de trajectoire :	46
IV.5 Résultat de simulation :	47
Conclusion :	49
Conclusion générale	50
Références Bibliographiques	51

***Introduction
générale***

La robotique est un très bon exemple de domaine pluridisciplinaire qui implique de nombreuses thématiques telles que la mécanique, la mécatronique, l'électronique, l'automatique, l'informatique ou l'intelligence artificielle. En fonction du domaine d'origine des auteurs, il existe donc diverses définitions du terme robot, mais elles tournent en général autour de celle-ci :

Un robot est une machine équipée de capacités de perception, de décision et d'action qui lui permettent d'agir de manière autonome dans son environnement en fonction de la perception qu'il en a.

Le développement des moyens informatiques dont disposent les chercheurs en robotique rend de plus en plus facile l'utilisation d'algorithmes puissants pour donner aux robots une capacité d'autonomie.

Dans ce mémoire, on s'intéresse à la planification de trajectoire et la commande du robot mobile « Dr. Robot I90 ». L'idée consiste à élaborer un programme permettant de piloter le robot d'un point de départ à un point d'arrivée selon une planification de trajectoire et de mouvement bien définies. Ce programme est effectué grâce au logiciel de simulation MATLAB.

Le mémoire est organisé comme suit :

Le premier chapitre, est consacré à des généralités sur la robotique mobile, ainsi que la modélisation et les modèles cinématiques des robots mobiles à roues selon leurs différentes catégories.

Le seconde chapitre est consacré à la description matériel et logiciel. Ainsi que les caractéristiques de notre mobile « Dr. Robot I90 ».

Le troisième fait l'objet de différentes méthodes de localisation et de planification de trajectoire pour les robots mobiles. Ainsi la méthode utilisée pour la navigation d'un robot mobile avec évitement d'obstacles.

Dans le quatrième chapitre, en présente le langage de programmation utilisé (MATLAB), ainsi que les différentes étapes de notre application et les résultats de simulation obtenus.

Enfin, une conclusion générale suivie de quelques perspectives termine ce mémoire.

Chapitre I

Chapitre I : Généralités sur la robotique mobile.

Introduction :

La robotique est un domaine de recherche important qui fait appel aux connaissances croisées de plusieurs disciplines. L'objectif est l'automatisation des systèmes mécaniques, en les dotant de capacités de perception, de décision et d'action permettant au robot d'interagir rationnellement avec son environnement sans intervention humaine. La robotique mobile est un domaine dans lequel l'expérience pratique est primordiale. Au début, les robots font leur apparition dans l'industrie grâce aux capacités des manipulateurs: des bras imitant le bras humain et capables d'utiliser différents outils pour accomplir divers tâches. Au fur et à mesure, ces bras gagnent de nouveaux degrés de liberté à l'aide de plates formes mobiles; c'est l'apparition des robots mobiles à roues. Les premiers robots autonomes utilisaient la roue mais pour certaines applications où la géométrie de l'environnement sont différent (terrain accidenté, endroits difficiles à atteindre), les recherches on orientés vers d'autres moyens de locomotion, inspirés du monde des animaux. Ainsi, les robots à pattes sont apparus et on connaît déjà des robots hexapodes ou des robots bipèdes. Des problèmes tels que la conception mécanique, la perception de l'environnement, la modélisation de l'espace de travail, la planification de trajectoires sans collision et la synthèse des lois de contrôle non linéaires sont des exemples de différents sujets de recherche dans la robotique mobile. L'intérêt indéniable de cette discipline est d'avoir permis d'augmenter considérablement nos connaissances sur la localisation et la navigation des systèmes autonomes. Cet axe de recherche étend le domaine d'application de la navigation autonome à toutes les sortes d'environnement non structurés, dû principalement à la nécessité d'aider ou de remplacer l'intervention humaine [1].

L'objectif de ce chapitre est de donner un bref exposé sur le domaine de la robotique mobile et ses différents types ainsi que domaines d'application.

I.1 définition :

I.1.1 définition de la robotique :

La robotique est la science qui étudie les systèmes électromécaniques actionnés et contrôlés par le biais d'un ensemble de logiciels leur conférant une intelligence dite artificielle ; aussi l'ensemble des techniques permettant la conception et la réalisation de machines automatiques ou de robots.

La robotique est pluridisciplinaire implique nombreuses thématiques telles que la mécanique, l'électronique, l'automatique, l'informatique ou l'intelligence artificielle.

I.1.2 définition d'un robot mobile :

Un robot mobile est un dispositif mécanique (alliant mécanique, électronique et informatique) doté de capteurs et d'effecteurs lui donnant une capacité d'adaptation et de déplacement proche de l'autonomie accomplissant automatiquement soit des tâches qui sont généralement dangereuse, pénibles, répétitives ou impossibles pour les humains, soit des tâches plus simples mais on les réalisant mieux que ce que ferait un être humain[2].

D'une manière générale on peut définir un robot comme étant un agent physique réalisant des tâches dans l'environnement dans lequel il évolue [3].

I.2 Historique de la robotique :

I.2.1 Les origines de la robotique :

Les ancêtres des robots sont les automates. Un automate très évolué fut présenté par Jacques de Vaucanson en 1738 : il représentait un homme jouant d'un instrument de musique à vent. Jacques de Vaucanson créa également un automate représentant un canard mangeant et refoulant sa nourriture après ingestion de cette dernière [4].

I.2.2 Les premiers robots :

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

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

I.2.3 Dates marquantes de la robotique :

- 1947 : Premier manipulateur électrique télé opéré.
- 1948 : Grey Walter invente le premier robot mobile autonome, une tortue se dirigeant vers les sources de lumière qu'elle perçoit. Cependant, ce robot n'est pas programmable.
- 1954 : Premier robot programmable.
- 1961 : Premier robot industriel mis en place dans une usine de General Motors. Qui a fait premier robot avec contrôle en effort.
- 1963 : Utilisation de la vision pour commander un robot.
- 1972 : Nissan ouvre la première chaîne de production complètement robotisée.
- 1973 : Premier robot mobile à roues.
- 1977 : Premier robot mobile français HILARE au LAAS (CNRS Toulouse).
- 1992 : Mise en place de la compétition annuelle AAAI sur la robotique mobile.
- 1995 : Mise en place de la Roba Cup.
- 1997 : Premier robot mobile extra planétaire sur Mars.

Depuis 2000 : Exploration :

- 2003 : Projet « Mars Exploration Rover » (Spirit & Opportunity).
- 2009 : Projet « Mars Science Laboratory » succédant au projet Rover, envoi prévu de Curiosity fin 2011.

I.3 Types des robots mobiles :

La caractéristique la plus remarquable d'un robot mobile est évidemment son moyen de locomotion. Celui-ci dépend directement du type d'application visé ainsi que de type de terrain dans lequel le robot mobile doit évoluer (environnement d'intérieur, extérieur, libre ou encombré d'obstacles,...). Les robots mobiles sont classés généralement selon le type de locomotion utilisé en quatre groupes distincts; qu'ils soient: à roues, à chenilles, à pattes ou avec d'autres moyens de locomotions. En effet, le type de locomotion définit deux types de contraintes :

- *Les contraintes cinématiques*, qui portent sur la géométrie des déplacements possibles du robot dans l'environnement de navigation.

- *Les contraintes dynamiques*, liées aux effets du mouvement (accélérations, vitesses bornées, présence de forces d'inertie ou de frottement). Ces facteurs influent sur le mouvement exécuté.

Selon la cinématique, un robot est dit holonome, s'il peut se déplacer instantanément dans toutes les directions possibles. Il est dit non holonome, si ses déplacements autorisés sont des courbes dont la courbure est bornée.

Dans ce qui suit, on décrit brièvement les grandes classes des robots mobiles :

I.3.1 Robot mobile utilisant la chenille :

Lorsque le terrain est accidenté, les roues perdent leur efficacité de locomotion. Ceci limite la capacité de mouvement du robot mobile équipé de ce type de système de locomotion. Dans ces conditions, les chenilles sont plus intéressantes car elles permettent d'augmenter l'adhérence au sol et de franchir des obstacles plus importants [6].

I.3.2 Robot mobile à pattes :

Dans la situation où le terrain est encore plus incertain, avec de grandes différences de hauteur comme par exemple un escalier ou un terrain très accidenté, les deux types précédents ne sont plus efficaces, et on fait recours aux robots mobiles à pattes. Ils ont des points d'appui discrets sur le terrain et sont donc la solution à ce problème de mouvement. Par contre, la conception et le contrôle d'un engin à pattes sont très complexes. En plus, la vitesse d'évolution est généralement très réduite. La commande est très difficile, dépend de la multiplicité des actionneurs utilisés. *Aibode* Sony est un exemple d'un robot mobile à pattes [7].

I.3.3 Robot mobile à roues :

Compte tenu de la simplicité du mécanisme de locomotion utilisé, ce type de robot est le plus répandu actuellement. La plupart des robots mobiles à roues opèrent dans des sites aménagés, des sites industriels ou des environnements intérieurs; mais il existe également des applications en environnements extérieurs, comme l'exploration spatiale [6]. La grande majorité des robots de ce type présente des contraintes de non holonomie qui limitent le mouvement instantané que le robot peut réaliser, car il existe pour toutes ces roues un point unique (*centre instantané de rotation* (CIR)) de vitesse nulle autour duquel le robot tourne de façon instantanée. La commande se fait par la motorisation des roues installées. Ces contraintes augmentent la complexité du problème de planification de trajectoire et son contrôle [8]. Les robots mobiles à roues peuvent être classés en plusieurs types avec des propriétés intéressantes: unicycle, différentielle, tricycle, de type voiture, omnidirectionnelle et à traction synchrone [7].

a) Classification des types de roues :

La mobilité d'un robot dépend des types de roues utilisées. Les différents types que l'on rencontre sont :

Chapitre I : Généralités sur la robotique mobile.

- La roue fixe : cette roue n'autorise qu'un déplacement dans la direction de son plan médian, l'orientation est fixe.
- La roue centrée orientable : elle possède un axe d'orientation qui passe par le centre de la roue et un axe de rotation.
- La roue décentrée orientable ou roue folle : son axe d'orientation ne passe pas par le centre de la roue.

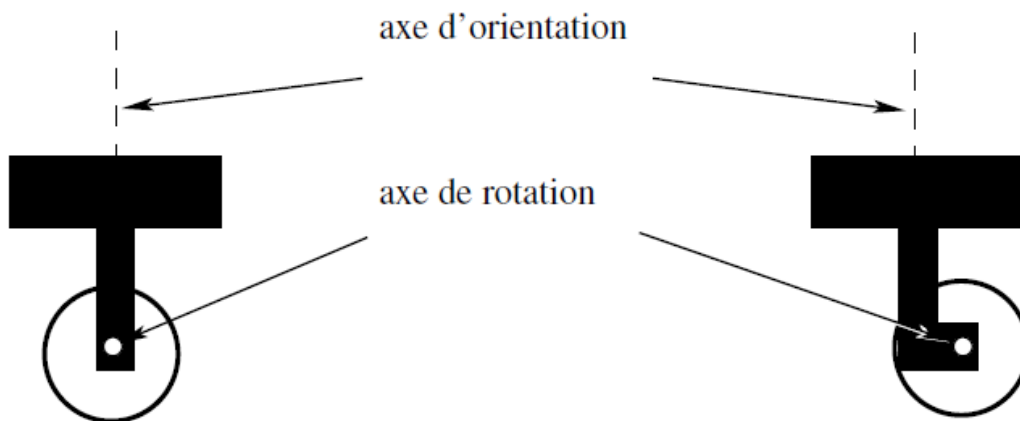
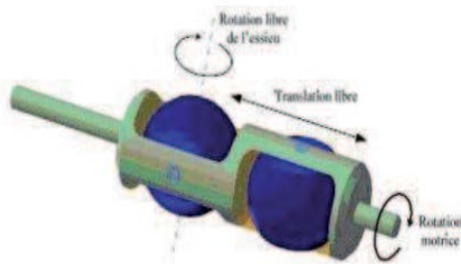


Figure I.1 : Roue centrée et roue décentrée.

En plus de ces roues classiques, d'autres roues ont été développées telles que les roues suédoises et tronco-sphériques. (Figure I.2)



Roue troncosphérique



Roue suédoise

Figure I.2 : Roues tronco-sphérique et suédoise.

b) Modélisation des robots mobiles :

Pour la modélisation terrain plat, nous définissons un repère absolu (fixé dans l'environnement) $R = (O, x, y, z)$ donc l'axe z est perpendiculaire au sol. Nous définissons un repère mobile lié au robot $R' = (O', x', y', z')$, dit égocentrique. Le point O' est le point de contrôle du robot. Généralement, sur un robot type voiture, le point de contrôle est fixé au centre de l'essieu non directeur. Ce repère égocentrique se déplace avec le robot. Pour réaliser une navigation, l'état du robot est totalement défini par le vecteur [9].

$$X = \begin{pmatrix} x \\ y \\ \theta \end{pmatrix} \quad (1.1)$$

Dans lequel θ désigne l'orientation du robot dans le plan (O, x, y, z) et v sa vitesse curviligne.

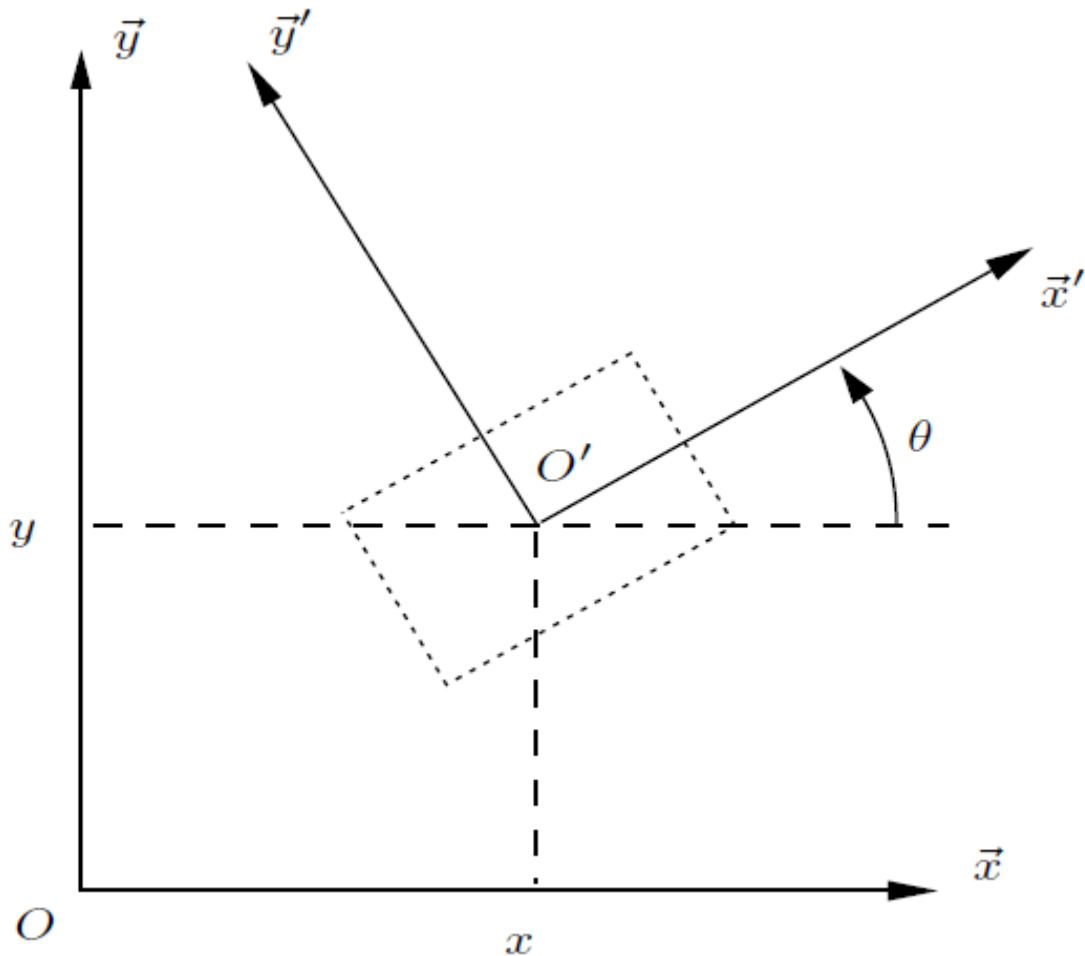


Figure I.3 : Modélisation du robot dans le repère absolu.

c) Modélisation cinématique des robots mobiles selon leurs différentes catégories :

Le modèle cinématique d'un robot mobile précise les possibilités d'évolution de toutes les coordonnées généralisées de ce système, il décrit complètement le comportement du robot mobile. Sa propriété évidente est sa linéarité par rapport aux vitesses.

Nous définissons $R=(O, x, y, z)$ un repère fixe dans le plan d'évolution du robot, dont l'axe z vertical et $R' = (O', x', y', z')$ un repère mobile lié au robot. On choisit généralement pour O' le centre de l'axe des roues motrices.

On appelle situation ou posture du robot le vecteur :

$$X = \begin{bmatrix} x \\ y \\ \theta \end{bmatrix} \quad (1.2)$$

d) Modèle cinématique du robot unicycle :

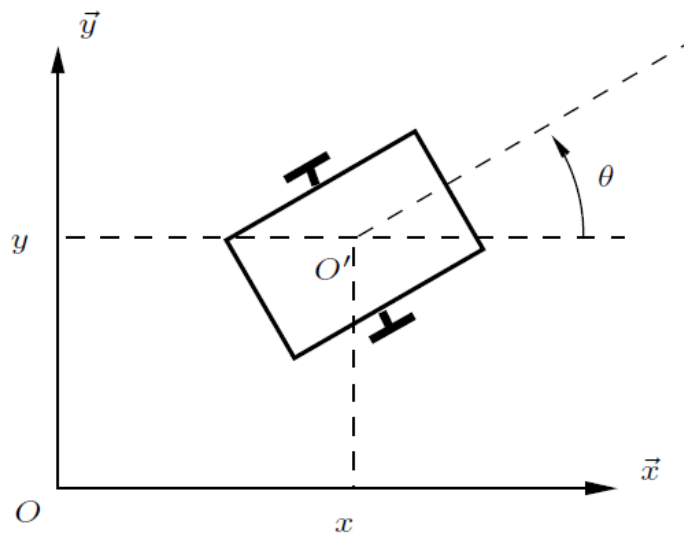


Figure I.4 : Robot mobile de type unicycle.

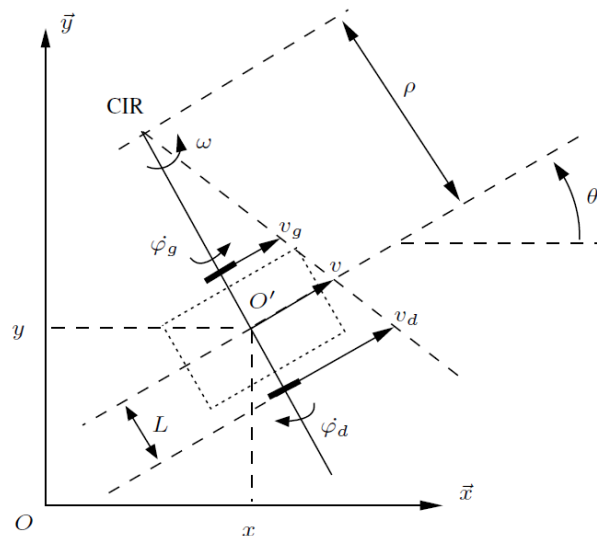


Figure I.5 : Centre instantané de rotation d'un robot de type unicycle.

Chapitre I : Généralités sur la robotique mobile.

$$\text{Le modèle cinématique est : } \begin{cases} \dot{x} = v \cos \theta. \\ \dot{y} = v \sin \theta. \\ \dot{\theta} = \omega. \end{cases} \quad (1.3)$$

Où :

$\mathbf{u} = (v\omega)^T$: est le vecteur de commande cinématique.

v : est la vitesse longitudinale du robot.

ω : La vitesse de rotation du robot autour de O' .

$\dot{\varphi}_d$: Vitesse angulaire roue droite.

$\dot{\varphi}_g$: Vitesse angulaire roue gauche.

L : Entre-axe des roues.

R : Rayon des roues.

e) Modèle cinématique du robot tricycle et voiture :

Ce robot est constitué de deux roues fixes de même axe et d'une roue centrée orientable placée sur l'axe longitudinale du robot (figure I.7). Le CIR du robot se situe à la rencontre des axes des roues fixes et de la roue orientable.

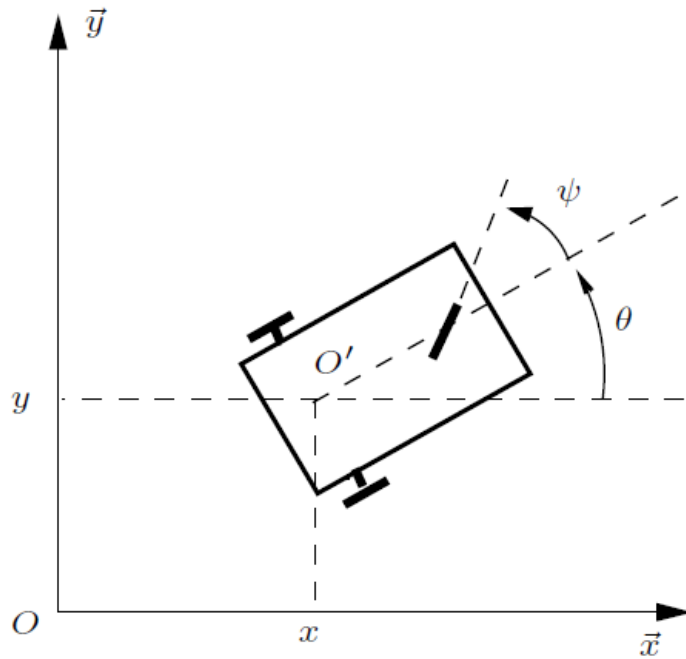


Figure I.6 : Robot mobile de type tricycle.

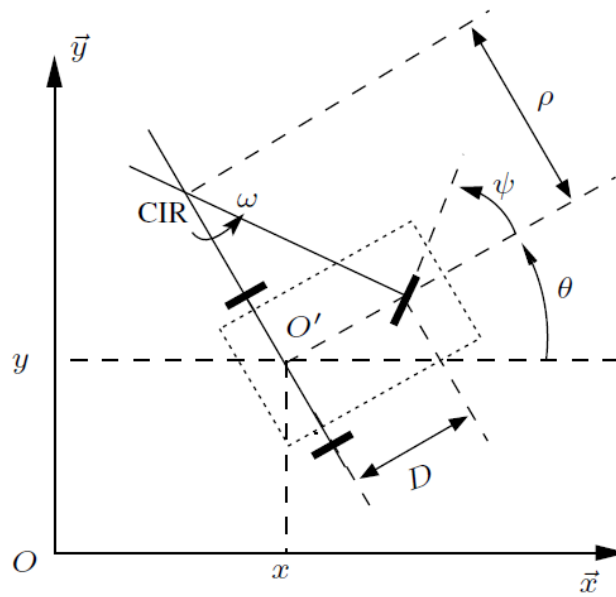


Figure I.7 : un robot mobile de type tricycle et son CIR.

Le modèle cinématique est :

$$\left\{ \begin{array}{l} \dot{x} = v \cos \theta \\ \dot{y} = v \sin \theta \\ \dot{\theta} = \frac{v}{D} \tan \psi \\ \dot{\psi} = \eta \end{array} \right. \quad (1.4)$$

Chapitre I : Généralités sur la robotique mobile.

Où :

$u = (v \ \eta)^T$ est le vecteur de commande cinématique.

ψ : Représentant la vitesse d'orientation imposée à la roue orientable.

D : Distance entre le centre de la roue orientable et le centre de l'axe à l'arrière. Le robot de type tricycle n'est que rarement utilisé, car il n'est pas très stable.

Le cas du robot de type voiture est semblable au tricycle. La différence se situe au niveau du train avant, qui comporte deux roues au lieu d'une alors il est plus stable puisqu'il possède un point d'appui supplémentaire.

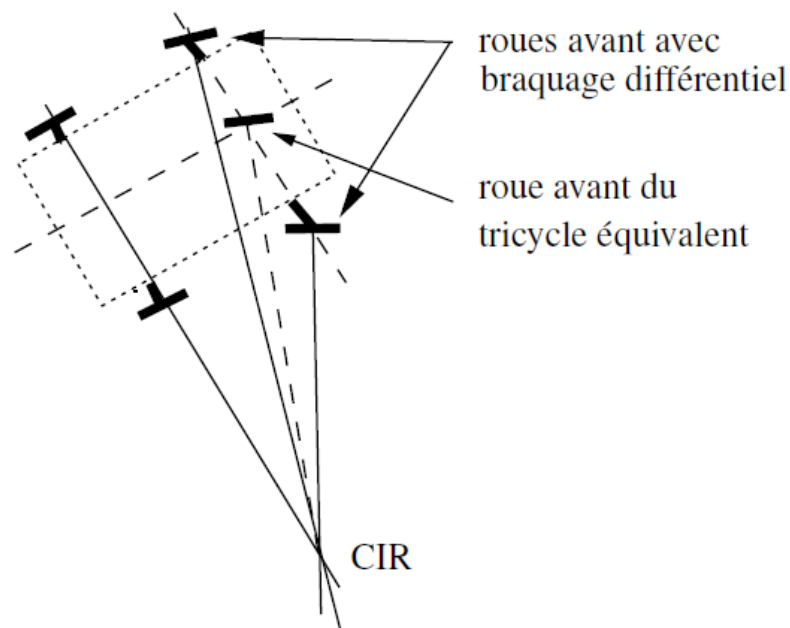


Figure I.8 : Un robot mobile de type voiture et son CIR.

f) Modèle cinématique du robot omnidirectionnel :

Un robot mobile est dit omnidirectionnel s'il peut se déplacer librement dans toutes les directions. Il est en générale constitué de trois roues décentrées orientables placées en triangle équilatéral [10].

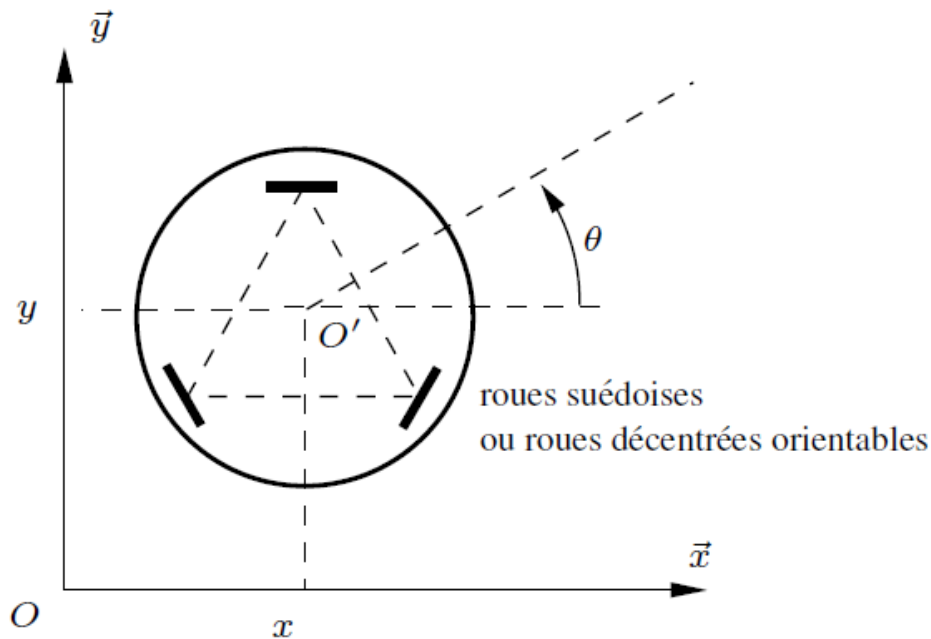


Figure I.9 : représentation d'un robot mobile omnidirectionnel.

$$\text{Le modèle cinématique est : } \begin{cases} \dot{x} = u_1 \\ \dot{y} = u_2 \\ \dot{\theta} = u_3 \end{cases} \quad (1.5)$$

Où $u = (u_1 \ u_2 \ u_3)^T$ représente le vecteur de commande.

Conclusion :

Ce chapitre présente des généralités importantes sur la robotique mobile. La construction, les applications et les types des robots mobiles à roues ainsi que la modélisation cinématique. Les robots à jouer un rôle de plus en plus important dans notre vie mais ceci n'annule pas l'existence de certains problèmes pour assurer une bonne application de ces robots, comme exemples de ces problèmes nous citons l'analyse de l'environnement, planification, navigation

Chapitre II

Chapitre II : Description de Dr. Robot I90.

Introduction :

Nous voulons dans ce présent chapitre aborder les principaux composants du robot mobile « *Dr. Robot I90* », nous décrivant sa structure formelle, représentée par sa hauteur, sa largeur, sa longueur et son poids. Puis nous entamons ses différents modules matériels et logiciels et leurs caractéristiques. Ainsi que les relations qu'entretiennent entre eux.

Pour que le robot puisse fonctionner, une liaison sans fil relie les contrôleurs de mouvements et de sensations à une unité de commande.

II.1 Définition :

Principalement « *Dr. Robot I90* » montré à la figure II.1 est un outil sophistiqué à l'usage des chercheurs, développant des applications avancées en robotique ; telles que la surveillance à distance dans différents environnements, localisation pour navigation et patrouille autonome, et diverses fonctionnalités.

Il est conçu pour répondre à des exigences qui permettront de résoudre des difficultés et des imprécisions que connu ce domaine de recherche pointue. Il est le résultat d'efforts de collaborateurs afin de façonner une plate qui pourra être plus légère, économique du point de vue de la consommation énergétique, durablement fonctionnel à coût d'achat relativement abordable.



Figure II.1: *Dr. Robot I90*.

II.2 Caractéristiques:

Nous avons souligné plus haut, que le souci du bon usage et d'adéquation du robot pour toutes circonstances est pris en compte [11] :

- Il pèse 5 kg de poids, donc portatif.
- Quant à ses dimensions et format :
D'une largeur de 43.0 cm, et de 38.0 cm de longueur, d'une hauteur de 30.0 cm.
- Doté d'une caméra à haute résolution de 704*480 pixels, avec deux audio.
- Une connexion complètement sans fil 802.11g, entièrement intégré avec deux canaux de communication série, supportant les protocoles UDP et TCP/IP.
- Sa vitesse maximale atteint 75 cm/sec.
- Il dispose des capteurs de navigation tels que trois ultrasoniques, sept infrarouges détecteurs de distance, et deux détecteurs de mouvements humains.
- Deux moteurs à courant continu, avec un encodeur optique intégré à 800 mesures par cycle.
- Une protection du circuit compréhensive.
- Il peut porter une charge utile additionnelle de 15 kg.
- Faculté de commende à distance.
- Grande plate-forme de montage supérieur pour appareils supplémentaires tels qu'un ordinateur portable.
- Les options mise à niveau :
 - Localisation et navigation autonome sans collisions.
 - Base de vision, douée d'un capteur de localisation d'intérieure GPS fournissant la position précise t ainsi que les informations de direction.
 - Six heures de validité pour la batterie et l'énergie du système.

II.3 Architecture de robot :

La technologie assignée au *Dr. Robot I90*, répond à l'architecture de calcul de distribution, initialement développé comme étant humanoïde. En utilisant cette approche, le

Chapitre II : Description de Dr. Robot I90.

contrôle de haut niveau du robot est maintenue par PC / serveur distant ou local communiquant par une liaison sans fil sécurisée.

La fonctionnalité de bas niveau est gérée par un processeur embarqué de signaux numérique (DSP). Avec la bande passante élevée du module wifi 802.11g, le système peut télécharger toutes les données du capteur à un PC ou d'un serveur à des fréquences supérieures à 10Hz. De même, la répartition audio et vidéo pour la surveillance directe [11].

Les commandes et les instructions envoyées au robot via la même liaison sans fil, passent également à des fréquences supérieures à 10Hz et offrant un accès et un contrôle en temps réel.

Le *Dr. Robot I90* comprend tous les composants logiciels de développement du robot, ce qui permet un accès facile à toutes les données et informations dans un environnement de programmation standard Microsoft Windows (par exemple MATLAB). Selon l'approche de l'aide d'un PC séparé pour le contrôle de haut niveau, il n'y a plus de restrictions à bord sur la puissance de traitement, la mémoire et le stockage d'un système mobile [11].

II.4 modules matériels du robot mobile i90 :

Nous représentant ci-dessous les principaux éléments qui se trouvent sur la base mécanique, électronique et informatique du robot :

II.4.1 Partie mécanique :

Constituée de trois principaux éléments distincts :

II.4.1.1 Châssis mécanique I 90-ME :

L'équilibre de la base de notre robot est maintenu grâce au rattachement de l'ensemble des éléments le constituant sur une plaque.

II.4.1.2 Moyens de locomotion :

La locomotion est très importante pour une base mobile telle que notre robot. Les principes constitutifs qui assurent le déplacement et la stabilité du robot pour les différents

Chapitre II : Description de Dr. Robot I90.

mouvements possibles sont nombreux et variés. Nous distinguons comme grande catégorie les roues.

a) Roues motrices :

La mobilité de notre structure est assurée par deux roues motrices, d'un diamètre de sept (07) pouces équivalents à 18cm ; parallèles fixées à l'avant de châssis par un axe. Ces roues sont plus faciles à contrôler, elles permettent au robot mobile de se déplacer plus rapidement.

Pour les mettre en mouvement, chaque roue est actionnée séparément par un moteur à cc 12 V avec un encodeur optique.



Figure II.2: Roue motrice.

b) Roues folle :

Notre robot se dispose d'une roue libre à l'arrière, qui assure sa stabilité et son équilibre pour les différents mouvements possibles.



Figure II.3 : Roue folle.

II.4.1.3 Moteurs :

Pour circuler dans son environnement, le robot est muni de plusieurs moteurs pour convertir l'énergie électrique en énergie mécanique.

Ces moteurs peuvent faire tourner les roues du robot afin d'effectuer des déplacements. La motorisation du robot est constituée essentiellement de moteurs à courant continu 12 V, et de servomoteurs.

a) Moteur à courant continu :

Le moteur à courant continu est composé de deux parties principales : l'inducteur ou dite stator (partie fixe), dont le rôle est de créer un champ magnétique \vec{B} , qui peut être à aimants permanents ou constitué d'électro-aimants. L'induit ou dite rotor (la partie mobile) porte des conducteurs alimentés par un courant continu et soumis à une force qui va faire tourner le rotor en créant le couple moteur [12]. Les roues seront fixées sur l'axe au milieu des aimants constituent le stator-rotor.

Le module de contrôle utilisé est le *MDM5253*, qui est une communication à trois canaux avec une carte amplificateur de puissance. Il peut être commandé directement par le signal PWM de conduite à une fréquence de 20KHz et une tension de fonctionnement de 5.0V à 28.0V. Caractérisé par une sortie analogique courant de rétroaction et une sortie de protection de court-circuit [13].

Pour les trois canaux indépendants, le *MDM5253* contient également le retour d'informations et des connecteurs de courant intégré, pour des capteurs de position tels que des potentiomètres précis.



Figure II.4: Module de contrôle DM5253.

b) Servomoteurs RC séparés :

C'est un type de moteur électrique spécifique pour un déplacement angulaire, capable d'atteindre des positions prédéterminées, puis de les maintenir ou l'inverse, de tourner de façon continue dans un sens donné à une vitesse comprise de 60 et 120 TPM (tour par minute) [12]. Ils sont commandés par un signal PWM de fréquence 50Hz, et possèdent une connectique composée de 03 câbles :

- Rouge : VCC a +5v.
- Noir : masse.
- Orange ou jaune : signal de commande PWM.

Dans le domaine de la robotique, le servomoteur a pour but de permettre la rotation des capteurs en connaissant leurs angles de rotation.

II.4.2 Partie électronique :

II.4.2.1 Capteurs :

Les capteurs ont une place prépondérante dans le système de traitement d'un robot. Ils ont pour fonction d'acquérir des données provenant de l'environnement et de l'informer sur ces propres actions, en vérifiant l'état de ses actionneurs. La capacité de perception et les besoins de localisation et de la navigation sont des fonctions essentielles en robotique, c'est la raison pour laquelle nous dotons notre plateforme mobile est dotée de deux types de capteurs : extéroceptifs et proprioceptifs.

a) Capteurs extéroceptifs :

Les capteurs extéroceptifs fournissent des informations sur le monde extérieur au robot (température, contact, etc.). Deux familles de capteurs extéroceptifs embarqués peuvent être identifiées : les capteurs télémétriques et les systèmes de vision.

• Capteurs télémétriques :

Il existe différents types de capteurs télémétriques qui permettent de mesurer la distance aux éléments de l'environnement qui sont :

➤ Capteurs à ultrasons :

Ils utilisent la mesure du temps de vol d'une onde sonore réfléchiée par les obstacles pour estimer la distance. Ces obstacles se situant dans un cône relativement large (d'angle au sommet d'environ 30 degrés) [14].

Le capteur de distance par rapport à un obstacle est constitué par un émetteur et un récepteur à ultrason. L'émetteur envoie une onde ultrason qui est renvoyée par un obstacle rencontré sur son chemin. Le récepteur à ultrason recevra cette onde.

Le module utilisé est DUR5200 qui peut détecter l'information d'une plage de 10 cm à 340 cm avec une fréquence de travail de 40 KHz. Les données de distance sont précisément présentées par l'intervalle de temps entre l'instant où la mesure est activée et l'instant où le signal d'écho est reçu [13].

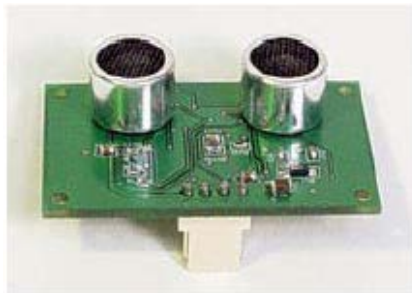


Figure II.5 : Module à ultrason DUR5200.

➤ Capteurs infrarouge :

Ce type de capteurs est constitués d'un ensemble émetteur/récepteur fonctionnant avec des radiations non visibles, dont la longueur d'onde est juste inférieure à celle du rouge visible, il délivre alors une tension en fonction de la distance de l'obstacle détecté. Ils sont souvent utilisés comme détecteurs de proximité.

Entre les différents types de capteurs infrarouges, notre robot est doté du module GP2Y0A21YK, qui est un capteur de proximité infrarouge fabriqué par Sharp. Il dispose d'une alimentation de +5V, u e sortie analogique de 3,1 à 4V, un signal de sortie de 0 à 3V et une mesure de distance de 10 cm à 80 cm [13].



Figure II.6 : Module à infrarouge GP2Y0A21YK.

➤ **Systeme de vision :**

En robotique ces systèmes sont basés sur l'utilisation d'une caméra pour percevoir l'environnement. Nous citons plusieurs types de caméras utilisées dans ce domaine, tel que caméras simples, stéréoscopiques et panoramiques.

Celle utilisée dans notre cas, est une caméra panoramique AV-PTZ-VH avec une résolution 704*480 pixels, une capacité d'inclinaison, un zoom optique et numérique 10x et une liaison audio bidirectionnelle [13]. Ainsi l'image recueillie permet d'avoir une vision de l'environnement sur 360 degrés autour de la caméra.

Ce types de caméra est très pratique pour la navigation car une image prise par une caméra panoramique orientée verticalement permet de caractériser une position ; indépendamment de la direction du robot.



Figure II.7 : Caméra panoramique PTZ.

b) Capteur proprioceptifs :

Ils fournissent des informations propres au comportement interne du robot, ainsi qu'ils renseignent sur son état à un instant donné (vitesses des roues, accélération etc.) [15].

On peut les regrouper en deux familles :

- **Les capteurs de déplacements :**

➤ Odomètre :

L'odométrie permet d'estimer le déplacement du robot à partir de calcul de la mesure de rotation de la roue. Cette mesure est en général effectuée par un codeur optique disposé sur l'axe de la roue, ou sur le système de transmission. L'information de déplacement nécessitera la connaissance de l'entraxe, diamètre des roues et la structure mécanique et cinématique du véhicule. La précision de mesure dépend du glissement, plus important dans les virages.

➤ Accéléromètre :

L'accéléromètre est un capteur capable de mesurer les trois accélérations linéaires en un point donné selon trois axes orthogonaux, ils peuvent donc mesurer les déplacements d'un robot.

Le *DTA5102* est le module de capteur utilisé, capable de mesurer à la fois l'accélération statique (inclinaison ou rotation) causée par la gravité terrestre et le choc ou la variation causée par un impact sur une plage de ± 1 g. Il utilise un accéléromètre micro-usiné IC combiné avec un filtre passe-bas et un amplificateur de signal [13].

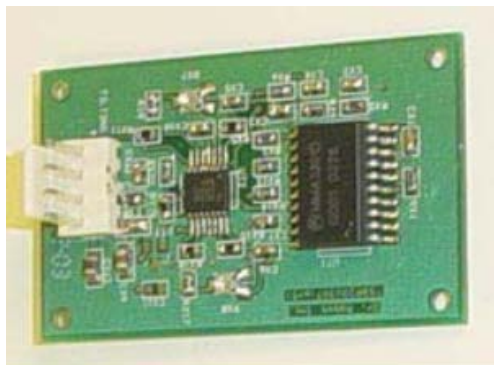


Figure II.8 : Module capteur d'accélération-DTA5102.

➤ Capteur de position :

Pour avoir la position de plateforme, on utilise deux capteurs de type potentiomètre. Le principe de fonctionnement consiste à l'exploit de la relation entre la position du curseur et la tension à la borne du potentiomètre puis à faire l'étalonnage avec la position du robot [16].

- **Capteur d'attitude :**

Les plus utilisés sont des gyromètres et gyroscopes, ils permettent respectivement d'effectuer une mesure de la vitesse et la variation angulaire.

- c) **Autres capteurs :**

- **GPS :**

Il est conçu principalement pour avoir un système de localisation universel possible, vu les besoins de localisation et de précision que ces calculs offrent [14].

Le GPS (Global Positioning System) fonctionne grâce au calcul de distance qui sépare un récepteur GPS de plusieurs satellites, la somme des informations nécessaires au calcul de la position des satellites étant transmise régulièrement au récepteur. Ce dernier mesurant la distance qui le sépare des satellites reconnaîtra ses coordonnées [17].

- **Capteur humain :**

Un robot mobile est équipé de détecteurs de mouvements et de présence, pour détecter des sources de chaleur en mouvement tels que le corps humain, qui émet un rayonnement thermique dont l'intensité en fonction de sa température de surface. Un capteur pyroélectrique adapté au domaine infrarouge reçoit ce rayonnement, et le convertit en tension électrique.

Le *Dr. Robot I90* utilise le détecteur DHM5150, capable de détecter la présence humaine dans la gamme jusqu'à 500 cm, ainsi que la direction de mouvement de cette chaleur dans la plage allant jusqu'à 150 cm avec l'utilisation de deux modules [13].



Figure II.9 : Module détecteur de mouvement humain-DHM5150.

II.4.2.2 LED :

Une LED (diode électroluminescente) est un semi-conducteur qui émet de la lumière quand un courant le traverse. Les matériaux semi-conducteurs que les LED utilisent transforment l'énergie électrique en un rayonnement électromagnétique visible, c'est-à-dire en lumière.



Figure II.10 : LED.

II.4.2.3 Gestion de l'alimentation et le système de recharge :

Les différents circuits et actionneurs du robot nécessitent des tensions et des courants différents. Pour cela le *Dr. Robot I90* est alimenté avec deux batteries 12 V de types Pack [24].

II.4.2.4 Câble de connexion-CCR2150 :

C'est un Câble avec connecteurs femelles DUSB 9 branches aux deux extrémités, avec 1.5m et une connexion à 9 file RS232 DTE a DTE.



Figure II.11 : Câble de connexion.

II.4.2.5 Ecran couleur tactile LCD PDM19 50 :

Ce type d'écran est programmable, à une résolution de 320*240 pixels [13]. Son principe, de fonctionnement se résume à une dalle composée de plusieurs couches qui sont transpercées par une lumière polarisée, venant de néons afin de créer des images constituées de millions de couleur minuscules.

II.4.3 Partie informatique :

II.4.3.1 Contrôleur du mouvement et des sensations du robot-PMS5005 :

Le PM5005 est utilise pour la détection, le contrôle et l'exécution du mouvement. Il rend les modules de commande du moteur et de communication sans fil transparente pour les utilisateurs. Et il élimine les risques de conception, de rationaliser le développement du matériel et du logiciel. Comme il peut conduire 6 moteurs, surveiller la tension du système et du référence [13].



Figure II.12 : contrôleur du mouvement et des sensations du robot_PMS5005-.

II.4.3.2 Contrôleur Multimédia PMB5010 :

Ce contrôleur multifonctionnel permet de rendre les modules tels que l'audio et le module d'image transparente pour les utilisateurs. Il est caractérisé par une horloge en temps réel, des entrées numériques pour les signaux offs et port d'extension parallèle pour la détection et de contrôle [13].



Figure II.13 : Contrôleur Multimédia-PMB5010.

II.4.3.3 Interface MCR3210 :

C'est une interface d'adaptation de matériel compatible avec les spécifications électrique RS232 standard. Il est nécessaire pour la connexion filaire de PMS5005 à un PC ou à des appareils, avec RS232 le port de communication série. Propulse par une simple alimentation de 3.3V, caractérisé par 9 bronches connecteur D-SUB [13].



Figure II.14 : Interface MCR3210.

II.4.3.4 Joystick de contrôle :

La fonction d'un joystick est de convertir une action manuelle en une tension électrique. C'est l'interface idéale du prototypage ou pour s'intégrer dans une commande a distance. Il intègre deux potentiomètres ; un pour l'axe avant/arrière, l'autre pour l'axe gauche/droite.

II.4.3.5 Communication wifi :

La communication avec l'opérateur est réalisée par une liaison sans fils radio fréquence pour commander notre robot. Cette liaison se résume en une transmission de données à distance qui pourra se réaliser à laide d'une télécommande bidirectionnelle, capable d'envoyer et de recevoir des données.

Le module wifi utilisé est le WFS802G-série (802.11g) intégré pour ajouter un réseau de logiciel sans fil au robot.

Le WFS802G intègre un TCP/IP de réseau complètement développés, établit des contacts pour permettre l'accès à un réseau local ou internet. Il inclut aussi un serveur web encadré qui peut être utilisé pour configurer de façon distante attaché [13].



Figure II.15 : Module WFS802G série (802.11g)

II.4.3.6 Modem :

Cet appareil électrique permet d'envoyer et de recevoir de l'information par une ligne de télécommunication.

II.5 Modules logiciels :

Ces modules servent à interpréter les donnée perçues par les capteurs afin d'y extraire des informations et d'envoyer les ordres relatifs aux moteurs pour faire fonctionner le robot. Tous ces modules sont assemblés dans une architecteur robotique.

II.5.1 Logiciel SDK :

Le SDK (Soft Développement Kit) contient les installations de la mémoire, la communication du système et de l'interface utilisateur, ainsi que les services publics pour entrée/sortie d'audio et vidéo, acquisition de donnée de capteur et de mouvement [18].

Dans le cadre du système architecture du robot, tous les contrôleurs sont connectés en une chaîne.

Tous les systèmes de contrôle embarqués ont au moins deux ports de SCI pour les communications du système : port orifice-supérieure et port orifice-inférieure, avec la direction relativement au contrôleur central. L'architecture de connexion contrôleur est représentée dans la figure II.16 :

Les APIs (Application programmable interface) sont l'interface entre le logiciel de niveau d'application et le système matériel du robot. Les programmes développés en utilisant les SDK (Soft Développement Kit) fonctionnent sur le PC pour envoyer et recevoir des données vers et à partir du DR. Robot I90 par fil ou sans fil.

Le microprogramme sur les contrôleurs embarqués prend soin de tous les faibles opérations au niveau des modules fonctionnels du système, telles que l'acquisition des données, rapidité de boucle de commande de mouvement de bas niveau, l'image et le capteur audio et de compression, la lecture audio et communication sans fil, ils sont transparents au système de logiciel de haut niveau en cours d'exécution sur le contrôleur de PC central.

Tout le développement de logiciel du système peut être exercé uniquement dans le système de PC à accès facile. Les SDK sont disponibles pour Visual studio.

Le programme utilise ce composant dans le programme Visual studio pour communiquer avec les contrôleurs du DR. Robot I90 PMS5010 ou/et PMB5010 [18].

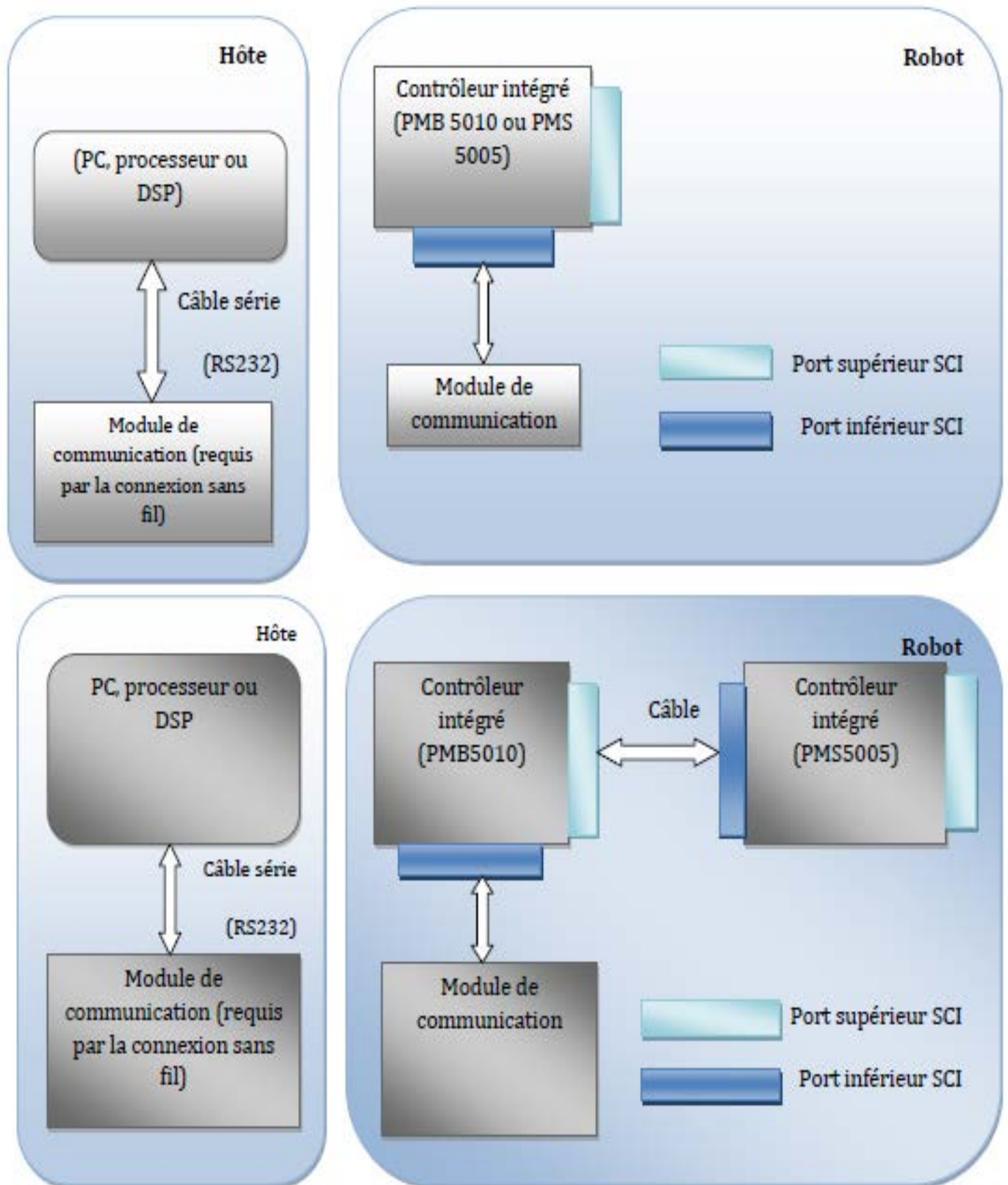


Figure II.16 : L'architecture du système du robot.

Conclusion :

La présentation des constituants du Dr. Robot I90 basée sur trois parties fondamentales ; mécanique, électronique et informatique, ainsi que ses fonction relèvent d'une haute technologie. Disposé d'un logiciel SDK de reconnaissance entre le robot et le logiciel de programmation studio visuel. Ils assurent la liaison qui épargne et réduit le degré d'imprécisions et d'erreurs.

A un stade élevé de la recherche scientifique, il assure une fiabilité et une interprétation d'informations précises utiles pour promouvoir des acquis théoriques et pratiques dans différents domaines.

Il permet a la fois d'atteindre des buts d'une extrême précision grâce a sa perfection en prototype humain, aussi il permet d'accomplir des tâches délicates.

En aval, nous avons choisis une trajectoire pour notre robot mobile, afin d'accomplir et d'exécuter un programme dans le but d'expérimenter de sa validité scientifique.

Chapitre III

Introduction

La planification de trajectoire est un problème clé en robotique et il a été très étudié ces dernières années. Il apparaît dans les différents domaines de la robotique: robot mobile, programmations automatique des robots industriels et aide à la télé-opération. Nous nous intéressons dans ce chapitre au problème de localisation et planification du déplacement d'un ou plusieurs mobiles dans un environnement suppose connu, au moins partiellement [19].

De manière générale on peut distinguer les classes de mouvement suivantes:

- le mouvement entre deux points avec trajectoire libre entre les points.
- le mouvement entre deux points via des points intermédiaires, spécifiés notamment pour éviter les obstacles, avec trajectoire libre entre les points intermédiaires:
- le mouvement entre deux points avec trajectoire contrainte entre les points (trajectoire rectiligne par exemple):
 - le mouvement entre deux points via des points intermédiaires avec trajectoire contrainte entre les points intermédiaires.

Le problème de planification de trajectoire peut s'énoncer comme suit:

« Etant donnée une description des frontières des obstacles et des objets à déplacer (les mobiles) dans l'espace cartésien, trouver une trajectoire sans collision amenant les mobiles de leurs positions initiales à leurs positions finales »

Dans ce chapitre nous avons étudié quelques méthodes pour la localisation et planification de trajectoire et à la fin choisi une méthode pour utiliser dans notre travail.

III.1 Système de localisation:

La localisation instantanée est un des points les plus importants et les plus délicats des robots mobiles. Elle permet de définir le positionnement [20]:

- Du mobile dans l'environnement.
- D'élément particulier de l'environnement.

III.1.1 La localisation du mobile

La localisation du mobile consiste à définir la position en termes de coordonnées

Chapitre III : localisation et Planification de trajectoire.

d'un point du mobile dans un référentiel de base. Les techniques à employer sont de deux types :

III.1.1.1 Localisation relative :

La localisation relative consiste à déterminer la variation des coordonnées de position lors d'un déplacement. L'estimation de la position absolue est le résultat de l'intégration des déplacements élémentaires. L'inconvénient de cette méthode réside dans l'accumulation des erreurs de mesure et de calcul.

III.1.1.2 Localisation absolue :

Les techniques de localisation absolue assurent la mesure de la position et de l'orientation du mobile à tout instant. Il existe de nombreuses méthodes de localisation, le choix de la technique est dicté par le type de la tâche à réaliser. La méthode des balises est la plus employée. Le principe consiste à mesurer la distance du mobile aux balises par temps de vol d'une onde (lumineux, électromagnétique ou acoustiques), la position est calculée par triangulation.

III.1.2 La localisation de l'environnement

La localisation de l'environnement présente un intérêt sur plusieurs plans :

- L'aide à la navigation pour la détermination de la présence d'obstacles sur une trajectoire prédéfinie.
- La détermination de la localisation du mobile par corrélation entre des caractéristiques de l'environnement et une carte mémorisée.
- Reconnaissance des lieux lors d'un apprentissage.

Pour cela plusieurs techniques sont employées, on cite :

- Les méthodes télémétriques.
- L'analyse d'image.
- Les méthodes de contact direct.

III.2.2.1 Les méthodes télémétriques

Les télémètres utilisent un émetteur et un récepteur. Selon le rayonnement émis on distingue les radars, les sonars (ultrasons) ou les télémètres optiques. La mesure de la distance repose sur deux approches : la mesure du temps de vol et la méthode de triangulation.

A) Télémétrie directe par mesure du temps de vol :

En robotique on utilise généralement les ultrasons et les télémètres à laser.

- **Télémètre à ultrasons :**

Ce type de télémètre est particulièrement simple et bon marché. Il est utilisé en particulier, sur les robots mobiles pour assurer les suivis de parois ou constituer une ceinture de sécurité.



Figure III.1 : Capteur ultrason.

- **Télémètre à laser :**

Le laser est beaucoup utilisé en télémétrie car il permet de créer des faisceaux monochromatiques de grande directivité. Il est possible de localiser des objets situés à quelques dizaines de mètres avec une précision de moins d'un centimètre.



Figure III.2 : Exemple d'un télémètre laser.

B) Télémétrie par triangulation

Le principe consiste à mesurer l'angle entre la direction d'un faisceau émis et celle sous laquelle est vu le point d'impact sur la cible. On utilise une source active permettant de projeter un point, une ligne ou même une grille.

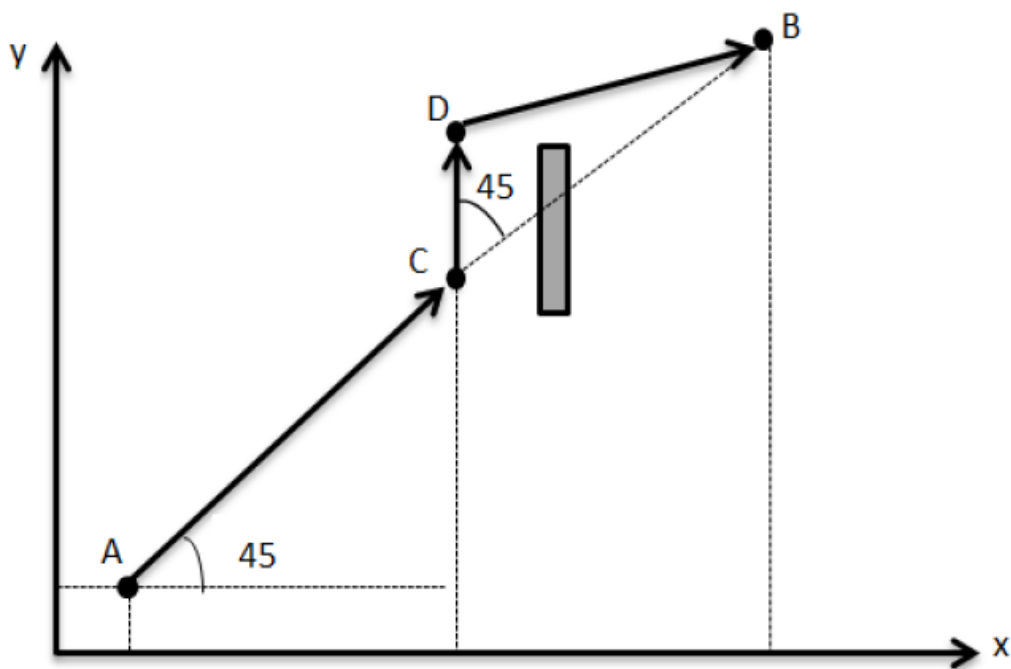


Figure III.3 : Télémétrie par triangulation.

III.1.2.2 L'analyse d'image :

La détermination des paramètres particuliers s'effectue par l'analyse d'une ou de plusieurs images. La stéréoscopie notamment assure la détermination de l'information de profondeur (ou distance) de l'environnement. Les caractéristiques des

Chapitre III : localisation et Planification de trajectoire.

formes (ex: droites représentant les bords d'une route) de couleur ou texture sont également employées. Ces informations assurent la détermination locale de l'environnement.

III.1.2.3 La localisation par contact :

La localisation par contact entre un élément physique lié au mobile et l'environnement constitue une technique analogue à la marche de l'aveugle. Le principe consiste à tendre un bras télescopique vers l'environnement. Le relevé de l'état du bras lors d'un contact définit la position de l'environnement par rapport au mobile.

III.2 Planification de trajectoire :

III.2.1 Principe de base :

Soit I un système robotique et soit E un environnement (espace de dimension 2 ou 3) géométriquement décrit dans un référentiel de base dont les objets sont considérés comme des obstacles fixes. La position I dans E sera appelée placement du système et sera décrite par un ensemble de coordonnées définies par rapport au repère de base.

Le problème à résoudre est le suivant : étant donné deux placements P_i et P_r de I , trouver un «chemin» permettant à I de se déplacer de P_i à P_r tel que I n'entre pas en collision avec E .

La recherche de chemin pour le robot mobile dans un environnement se transforme en un problème de recherche de chemin pour un point dans un « certain espace » caractéristique du problème [19].

III.2.2 Configuration de l'espace :

La notion d'espace des configurations a été introduite par Udupa qui a fourni l'un des premiers algorithmes de planification de trajectoires sans collision pour un robot manipulateur.

Elle a ensuite été généralisée et formalisée par Lozano-Perez et par Sharir Shwartz sous un angle plus mathématique. Pour définir l'évolution d'un ensemble de solides, il faut donner un certain nombre de conditions initiales et de lois physiques régissant cette évolution.

Chapitre III : localisation et Planification de trajectoire.

Une configuration du système de solides est un pupitre de réels indiquant la position et l'orientation de ce système. L'objectif de l'espace des configurations est de trouver une séquence de positions et d'orientations permettant de déplacer un dispositif de forme donnée a priori dans un espace contenant des obstacles.

L'espace de travail est un sous ensemble de l'espace euclidien $d*d$ ou on définit des obstacles qui ont une forme géométrique simple. Le robot mobile est spécifié par sa position et par son orientation, il existe trois configurations. Représentées dans la Figure III.4.

- Configuration libre.
- Configuration de contact.
- Configuration de collision.

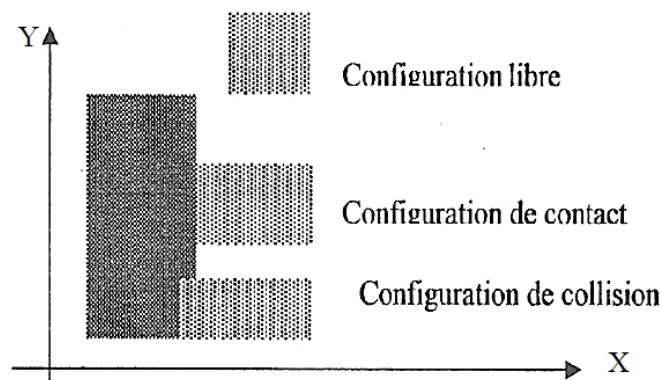


Figure III.4 : Les différentes configurations de l'espace.

III.2.3 Construction du modèle de l'environnement :

Le robot mobile doit modéliser son espace de travail et le rendre connu pour se déplacer et exécuter ses tâches. La représentation du modèle de l'environnement se fait par des méthodes de modélisations. Et qui peuvent être regroupées en deux catégories [21]

- Les méthodes par grille ou par codage.
- Les modèles géométriques.

III.2.3.1 Modélisation par grille :

La modélisation par grille a été utilisée dans les premiers travaux de recherche d'un chemin optimal car cette représentation se prête à une programmation directe. Cette

Chapitre III : localisation et Planification de trajectoire.

méthode consiste à découper l'espace bidimensionnel en un ensemble de cellules rectangulaires de mêmes dimensions juxtaposées dont l'appartenance à une zone autorisée ou interdite est booléenne. La capacité mémoire nécessaire pour mémoriser l'ensemble des coordonnées des cellules est importante.

III.2.3.2 Modèles géométrique :

Cette méthode consiste à diviser l'espace de travail à des cellules polygonales. Le passage d'une cellule à la suivante s'effectue par le centre des segments. L'ensemble des cellules composées est représenté sous forme de graphe dont les sommets et les arcs de liaison représentent respectivement les cellules et les passages possible entre deux cellules.

Un regroupement des cellules en famille permet de créer un graphe réduit, dont la détermination est réalisée par la recherche des arcs de passage obligatoire pour accéder au groupe des cellules considérées.

La recherche de chemin est réalisé en deux étapes selon des niveaux de graphes élaborés Les méthodes de résolution du problème de la planification de mouvement sont nombreuses, et qui peuvent être regroupées en deux catégories géométriques et cinématique.

III.2.4 L'approche globale :

L'approche globale c'est une méthode utilisé dans le cas d'un environnement partiellement ou complètement connu. Elle utilise un modèle de l'espace libre dont l'espace de configuration permet la recherche exhaustive de la trajectoire de cout minimum au sens de critère donné ou de conclure à la non-exhaustive d'une trajectoire amenant le système de la configuration initiale à la configuration finale. Notons que cette approche est très couteuse en temps de calcul qu'en occupation mémoire, mais son avantage consiste à la garantie d'arrivée au but en suivant un chemin optimal.

Une multitude des méthodes ont à ce jour été proposées nous mentionnons ci-dessous quelques méthodes:

- Méthode de décomposition cellulaire.
- Méthode de roadmap.

Chapitre III : localisation et Planification de trajectoire.

- Méthode des vecteurs de traversabilité.

III.2.4.1 Méthode de décomposition cellulaire

La méthode de décomposition cellulaire consiste à décomposer dans un premier temps l'espace libre dans un ensemble des cellules et à représenter leurs relations d'adjacence dans un graphe. Ensuite ce graphe est exploré, menant à une succession de cellules adjacentes qui relient celles contenant les configurations initiale et finale. Ces configurations sont alors reliées par une trajectoire qui traverse la succession de cellules.

Une limitation sévère de la méthode de décomposition cellulaire est que le nombre de cellules nécessaire pour représenter l'espace libre croît exponentiellement avec la dimension de l'espace de travail. Cette méthode se restreint ainsi en pratique à des cas de faibles dimensions.

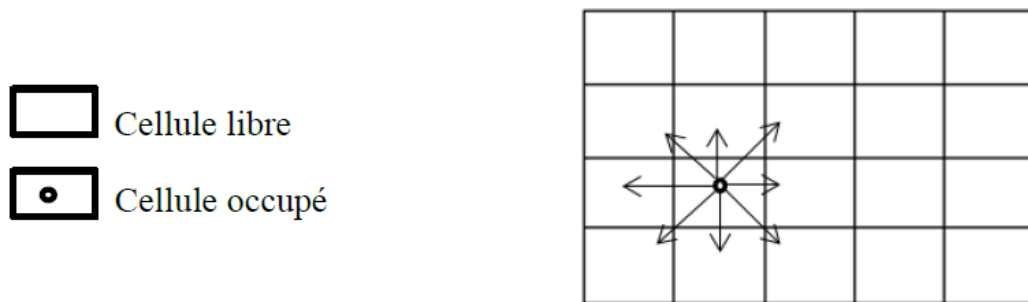


Figure III.5 : Relation d'adjacence.

III.2.4.2 Méthode de vecteurs de traversabilité :

Une autre méthode emploie la notion de traversabilité à travers un groupe d'obstacles. Dans cette méthode l'obstacle est modélisé par un polygone convexe des arêtes dans R^2 . Le t-vecteur d'un point $p(x, y)$ de R vis-à-vis d'un obstacle O_i noté $t(i, j)$ est défini comme un n-uple vecteur ligne binaire.

III.2.4.3 Méthode de roadmap :

Roadmap est un réseau de courbes qui représentent la connexité de l'espace libre avec les obstacles existants. Le problème de la planification de trajectoire est alors résolu, en connectant la position initiale et finale à la roadmap par des chemins admissibles. Le problème essentiel est la construction de la roadmap, dans le cas d'un espace de dimension

Chapitre III : localisation et Planification de trajectoire.

deux et qui est peuplé par des obstacles polygonaux. La roadmap est constituée par des segments reliant deux sommets de polygones différents et qui ne traversent aucun obstacle. On peut aussi l'appeler graphe de visibilité.

III.2.5 L'approche locale :

Les techniques locales n'utilisent pas de modèle complet de l'espace libre. Elles sont sans mémoire, et ne prennent en compte à un instant donné que l'environnement proche du mobile pour modifier une trajectoire de consigne.

Ces méthodes sont attrayantes par leur simplicité, bien sûr elles présentent un inconvénient majeur de ne pas pouvoir suivre le chemin optimal. Le système peut être bloqué par des dispositions concaves d'obstacle. Ces méthodes sont beaucoup moins coûteuses et ne nécessitent pour acquérir des informations nécessaires au fur et à mesure de déplacement les méthodes locales existantes sont [21]:

- Méthode de champs de potentiel.
- La méthode myopique.

III.2.5.1 Méthode myopique :

Cette méthode est inspirée du comportement d'un aveugle évoluant dans un environnement inconnu en détectant les parois des obstacles avec sa canne. L'algorithme de contournement d'obstacle permet au robot mobile d'évoluer en fonction des informations issues des capteurs.

Il part de l'hypothèse que s'il existe un chemin entre un point initial P_0 et un point final P_n l'algorithme est capable de le déterminer en longeant les obstacles présents sur la trajectoire du robot. Si le lieu d'évolution ne comporte pas d'obstacle entre les points de départ et d'arrivée, la trajectoire est la droite passant par les points $P_0 (X_0, Y_0)$ et $P_n (X_n, Y_n)$. La figure 3.6 Représente cette méthode [19].

En présence d'obstacles, on définit des points intermédiaires en fonction des obstacles, à contourner. L'ensemble des segments joignant ces points constitue la trajectoire de contournement.

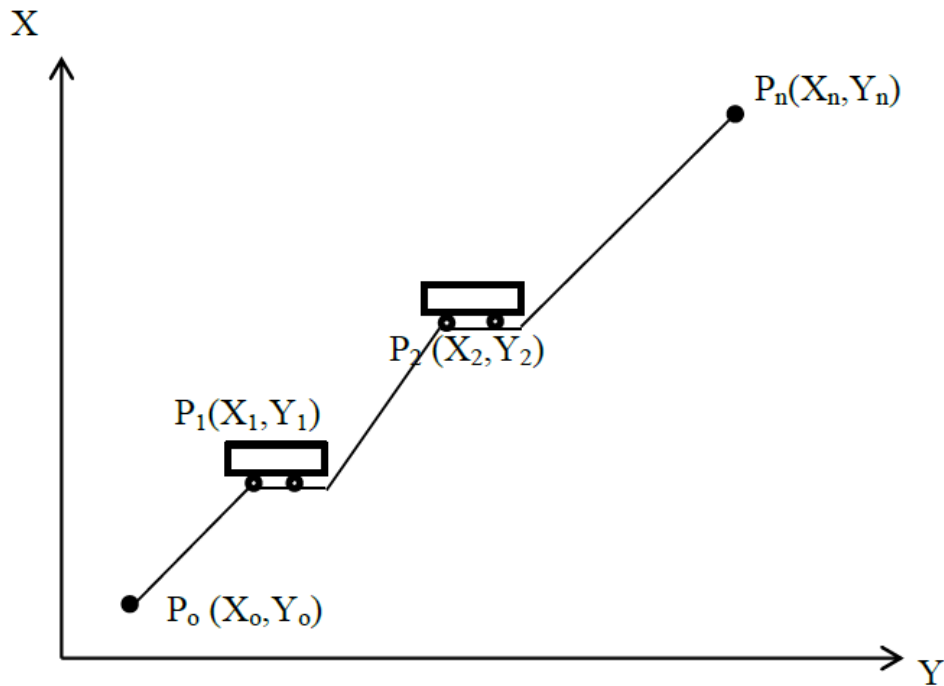


Figure III.6 : Contournement dans le cas de la méthode myopique.

III.2.5.2 Méthode de champs de potentiel :

La méthode considère que le mobile évolue dans un champ de forces dont le but est un pôle attractif alors que les obstacles sont répulsifs. L'amplitude de la force de répulsion est une fonction de l'inverse de la distance entre le mobile et l'obstacle alors que la force d'attraction est une fonction de la distance à parcourir jusqu' au but [21].

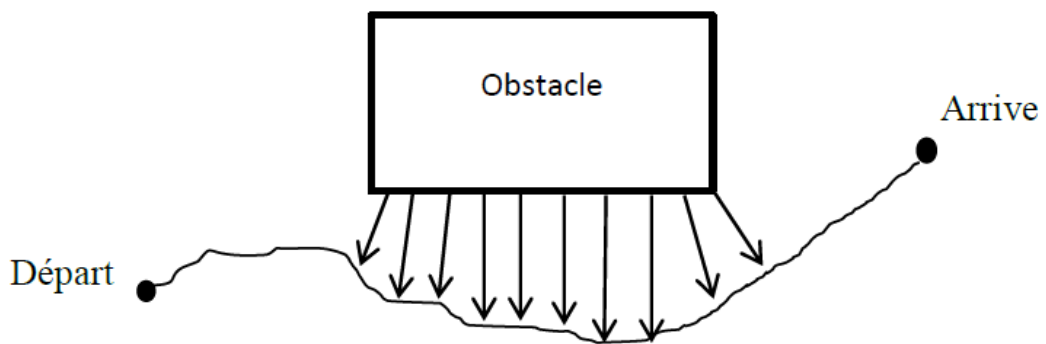


Figure III.7 : Principe d'évolution d'un robot mobile par la méthode de champs de potentiel.

III.3 Méthode de Bézier :

Une autre famille de trajectoires fréquemment utilisées pour la planification des robots mobiles non-holonomes est basée sur l'utilisation des courbes de Bézier /Demengel 1998/.

Chapitre III : localisation et Planification de trajectoire.

Base de Bernstein de degré n :

Fonctions de base des polynômes de degré n :

$$B_i^n(t) = C_n^i t^i (1-t)^{n-i} = \frac{n!}{i!(n-i)!} t^i (1-t)^{n-i} \quad \forall t \in [0, 1] \text{ et } 0 \leq i \leq n \quad (3.1)$$

Courbe de Bézier :

Courbe C paramétrée polynomiale de degré n :

$$C = \left\{ P(t) = \sum_{i=0}^n P_i B_i^n(t), t \in [0, 1] \right\} \quad (3.2)$$

$\{P_0, P_1, \dots, P_n\}$ polygone de contrôle de la courbe C.

$$C = \left\{ P(u) = \sum_{i=0}^n P_i B_i^n \left(\frac{u-a}{b-a} \right), u \in [a, b] \right\} : t = \frac{u-a}{b-a} \in [0, 1] \quad (3.3)$$

Quelques propriétés géométriques :

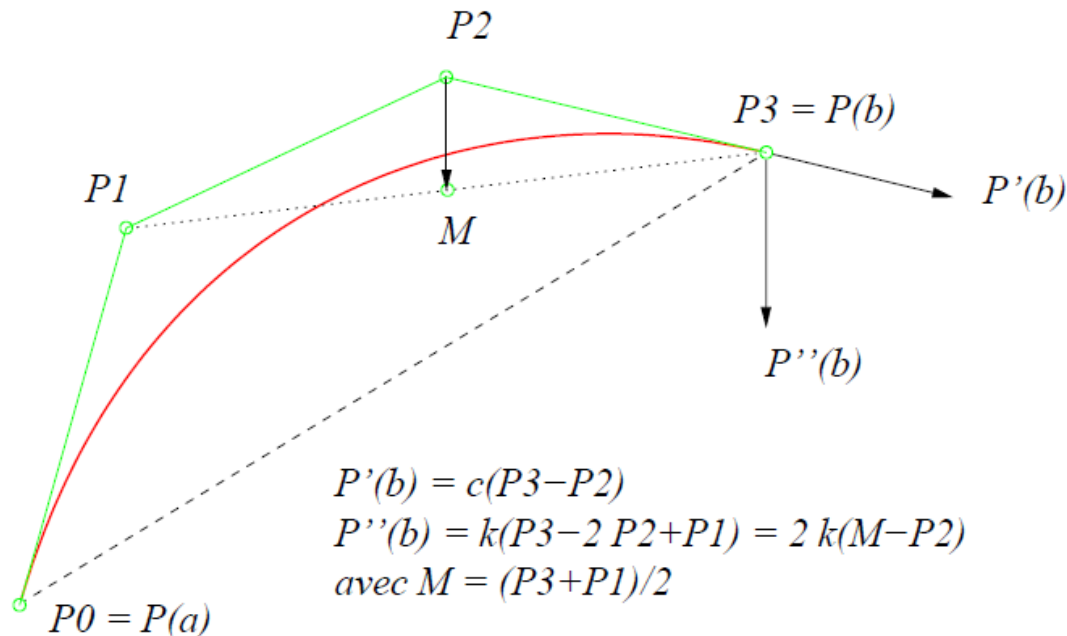


Figure III.8 : courbe de Bézier avec 4 points de contrôles.

Chapitre III : localisation et Planification de trajectoire.

Conclusion :

Nous avons présenté dans ce chapitre les méthodes de planification et de localisation de trajectoire pour les robots, et en cas particulier pour les robots mobiles.

Les méthodes données restent jusqu'aujourd'hui une matière première aux différentes améliorations.

Pour notre robot mobile nous allons utiliser la localisation par le polynôme de Bézier.

Chapitre IV

Introduction :

Pour réaliser la planification du mouvement et le contrôle des robots mobiles non-holonomes on adopte des approches de polynôme de Bézier.

Un robot mobile non-holonomes est une catégorie de robots qui dispose seulement de 2 degrés de liberté sur un plan, puisque les translations latérales sont impossibles à réaliser.

- Une translation : avance ou recule.
- Une rotation : tourne vers la droite ou vers la gauche.

Pour la simulation des algorithmes de choix et de construction de la trajectoire. Notre choix s'est porté le logiciel MATLAB pour plusieurs raisons :

MATLAB permet de visualiser les trajectoires issues des algorithmes de construction et de choix.

On peut lancer le programme de simulation en boucle pour plusieurs positions de départ (maillage de l'environnement). Et ainsi obtenir une représentation de l'espace libre des configurations de départ.

Le langage de programmation est relativement rapide à assimiler.

IV.1 Modélisation d'un robot mobile :

On note $R=(O, x, y, z)$ un repère fixe quelconque, dont l'axe z est vertical et $R' = (O', x', y', z')$ un repère mobile lié au robot. On choisit généralement pour un O' point remarquable de la plate-forme, typiquement le centre de l'axe des roues motrices s'il existe, comme illustré à la figure IV.1.

Par analogie avec la manipulation, on appelle situation [22] ou souvent posture [23] du robot le vecteur :

$$X = \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} \quad (4.1)$$

Chapitre IV : simulation et Résultats.

Où x et y sont respectivement l'abscisse et l'ordonnée du point O' dans R et θ l'angle $(x; x')$. La situation du robot est donc définie sur un espace \mathcal{M} de dimension $m = 3$, comparable à l'espace opérationnel d'un manipulateur plan.

La configuration d'un système mécanique est connue quand la position de tous ses points dans un repère donné est connue. Alors que pour un bras manipulateur cette notion est définie sans ambiguïté par les positions angulaires des différentes articulations, on peut, dans le cas d'un robot mobile, donner une vision plus ou moins fine de la configuration, comme on le verra par la suite. Dans tous les cas, on définira la configuration du robot mobile par un vecteur :

$$\mathbf{q} = \begin{pmatrix} q_1 \\ q_2 \\ q_3 \end{pmatrix} \quad (4.2)$$

De n coordonnées appelées coordonnées généralisées. La configuration est ainsi définie sur un espace \mathcal{N} de dimension n , appelée l'espace des configurations.

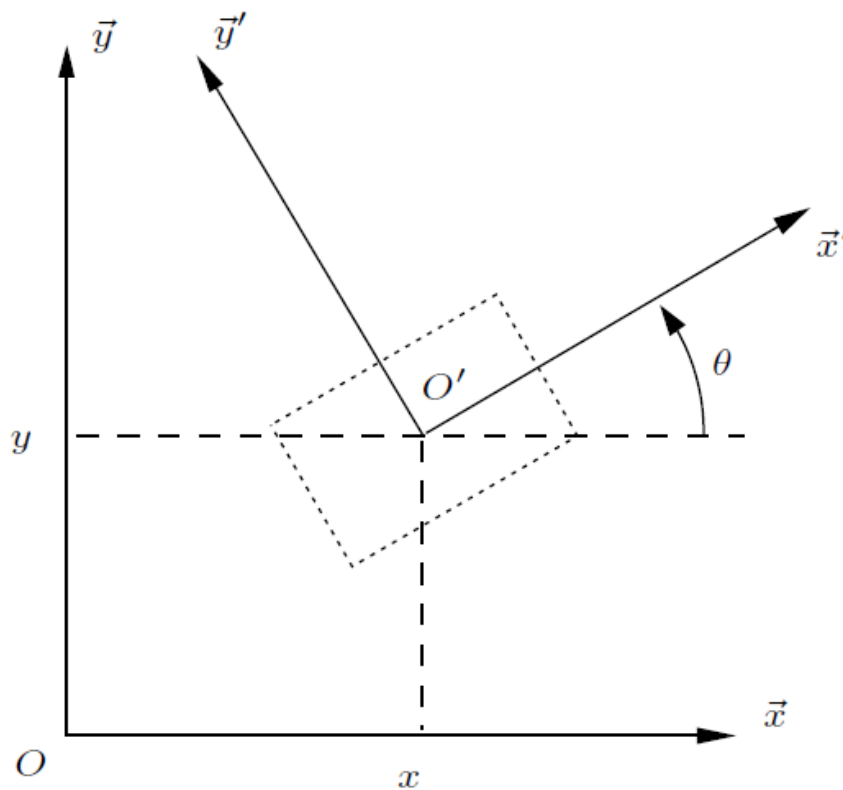


Figure IV.1 : Repère d'un robot.

IV.2 Vecteur d'état :

Le vecteur d'état du robot à l'instant t est défini comme suite :

$$X(t)=[x(t) \ y(t) \ \theta(t) \ v(t)]^T \quad (4.3)$$

Avec :

$$\begin{cases} \dot{x} = v \cos \theta \\ \dot{y} = v \sin \theta \\ \dot{\theta} = u_1 \\ \dot{v} = u_2 \end{cases} \quad (4.4)$$

Ce vecteur va nous permettre de caractères de manière unique la configuration du système robotique à tout instant.

IV.3 Vecteur de commande :

Afin de contrôler le système robotique par la méthode de Bézier, il nécessaire de définir un vecteur de commande en vitesse. Dans cette optique, et à partir des capteurs, nous introduisons le vecteur u qui dépend du temps :

$$u(t)=[x(t) \ y(t) \ dy(t)]^T \quad (4.5)$$

Avec :

$x(t)$: le vecteur d'état.

$B(t)$: le polynôme de Bézier :

$$B(t) = \sum_{i=0}^n \left[\frac{n!}{i!(n-i)!} \right] [(1-t)^{n-i} t^i p_i] \quad (4.6)$$

$$\dot{B}(t) = \sum_{i=0}^n \left[\frac{n!}{i!(n-i)!} \right] [i(1-t)^{n-1} t^{i-1} - (1-t)^{n-i-1}] p_i \quad (4.7)$$

IV.4 planification de trajectoire :

Position de problème :

Soit un système à temps continu de représentation d'état :

$$\dot{x} = f(x, u, t) \quad (4.8)$$

Et de condition initiale $x(t_0) = x_0$, une trajectoire unique x est défini pour l'état sur $[t_0, dt, t_f]$. Elle représente une fonction de la condition initiale x_0 et de la commande u sur $[t_0, dt, t_f]$.

Soit la fonction de rotation :

$$R = \begin{pmatrix} -v \sin \theta & \cos \theta \\ v \cos \theta & \sin \theta \end{pmatrix} \quad (4.9)$$

V est la vitesse du robot.

$$w = \begin{pmatrix} -v \sin \theta \\ v \cos \theta \end{pmatrix} \quad (4.10)$$

Sa dérivée est donnée comme suite :

$$\dot{w} = \begin{pmatrix} v \cos \theta \\ v \sin \theta \end{pmatrix} \quad (4.11)$$

Alors la loi de commande s'écrit :

$$u = \left(\frac{1}{R}\right) (y - w) + 2(dy - dw) \quad (4.12)$$

Et le modèle d'état du robot à chaque instant sera :

$$x(t) = x_0 + f(x, u)dt \quad (4.13)$$

IV.5 Résultat de simulation :

Nous passons à l'expérimentation. Dans un premier temps, nous allons implémenter un générateur de trajectoire pour le robot mobile.

Le travail se fait grâce au logiciel MATLAB selon l'algorithme suivant :

1. Initialiser un environnement avec obstacle (Carte 2D).
2. Initialiser l'ensemble des points de contrôles pour obtenir la trajectoire désirée.
3. Initialisation l'orientation et la position de départ du robot.
4. Tracer la courbe de Bézier (la trajectoire désirée).

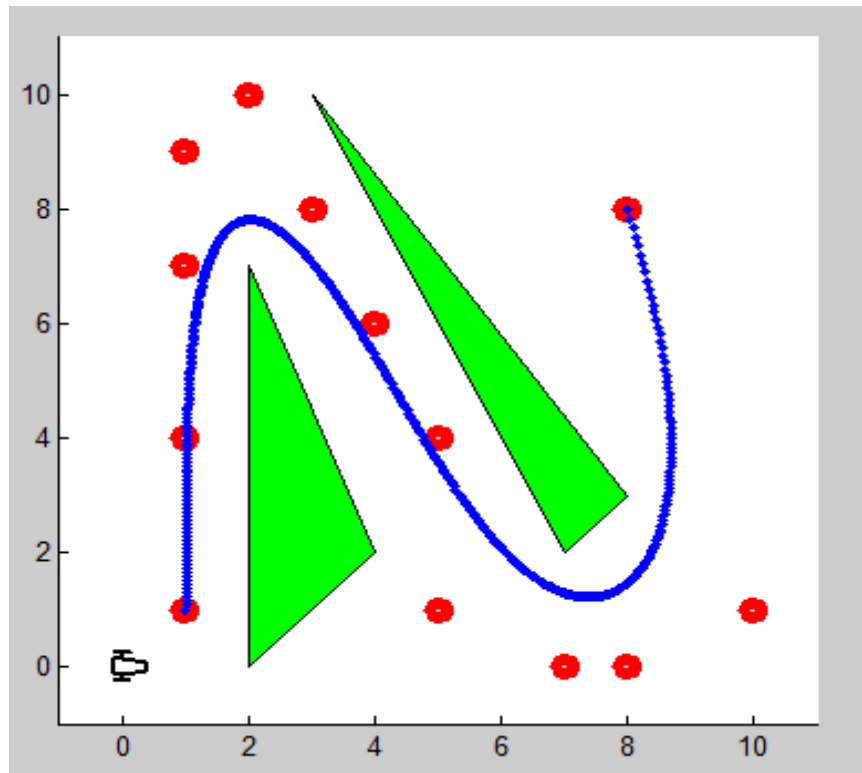


Figure IV.2 : MATLAB : simulation d'un robot mobile en 2D.

5. Créer le contrôle de trajectoire.
6. Définir le chemin suivant les paramètres de contrôleur.
7. Définir le point d'arrêt du robot.
8. Démarrer la simulation jusqu'à ce qu'elle atteigne le point final.

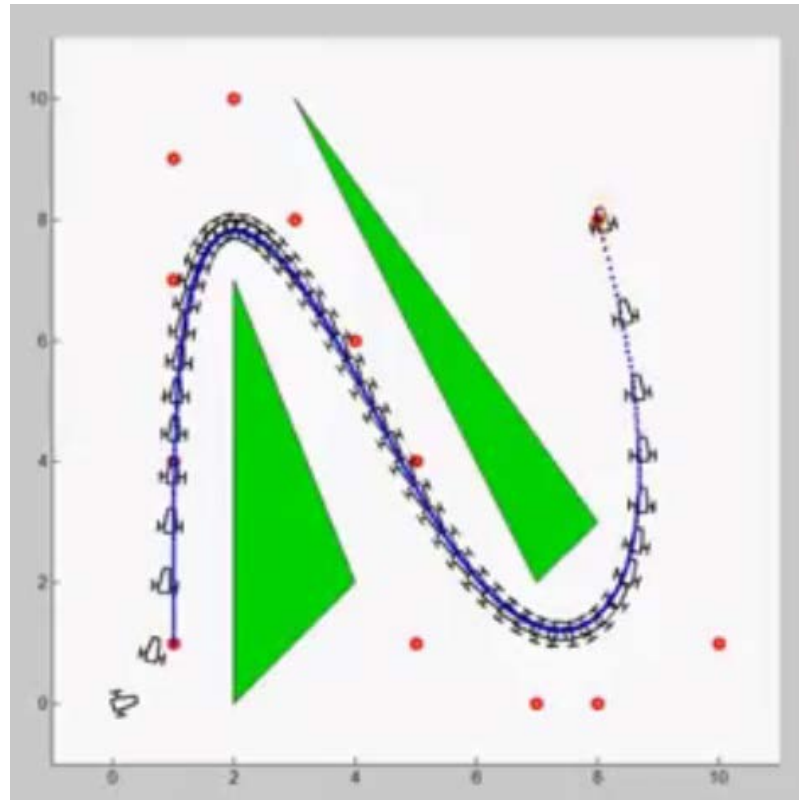


Figure IV.3 : MATLAB : Résultat de simulation d'un robot mobile en 2D.

Remarque :

On remarque que le robot rejoint sa trajectoire puis il se calle dans cette dernière jusqu'à atteindre la cible.

Conclusion :

Dans ce chapitre, un système robotique a été modélisé afin de réaliser une navigation. Nous avons introduit les commandes de contrôle nécessaires avec le polynôme de Bézier qui utilise des points de contrôle qui aident le robot de suivre la trajectoire souhaitée qui de s'éloigner de les obstacles.

Conclusion générale

Le travail présenté, dans ce mémoire, s'inscrit dans le cadre de la commande d'un robot mobile, selon une planification de trajectoire qui lui permet de gérer ses mouvements avec l'évitement des obstacles prémédités.

Nous avons commencé par les généralités sur la robotique mobile et les techniques de modélisation utilisées, tout en citant les différents robots mobiles à roues et leurs modèles cinématiques.

La suite de travail a été consacrée sur la description des différents composants logiciels et matériels permettant le bon fonctionnement de notre robot mobile « *Dr. Robot 190* », ainsi que leurs caractéristiques.

Par la suite nous nous sommes consacrés aux différentes méthodes appropriées à la localisation et la planification qu'utilisent les robots mobiles à roues lors de l'exécution des tâches ainsi que notre approche.

A la fin du mémoire, nous avons simulé la planification de trajectoire avec la méthode de Bézier grâce au logiciel MATLAB, qui permet de visualiser les trajectoires issues des algorithmes de construction et du choix.

Pour les perspectives, on se propose de combiner les méthodes de planification de trajectoire d'un robot mobile et celle de l'asservissement visuel dans le but d'obtenir les meilleures performances de poursuite ainsi qu'une simplicité d'implémentation en pratique.

***Références
bibliographiques***

- [1] Cherroun Lkhmissi : « Navigation Autonome d'un Robot Mobile par des Techniques Neuro-Floues » Thèse de Doctorat.
- [2] Nabil Lamara : « réalisation d'une commande d'un robot mobile » mémoire fin d'études de master professionnel.
- [3] Agnès Guillot. « La robotique de A à Z ». Le laboratoire de recherche dédié au développement, 20/01/2003. Georges.
- [4] Boimond Jean-Louis, Cours-Robotique.
- [5] J. Borenstein, H. R. Everett, and L. Feng, "*Where am I, Sensors and Methods for Mobile Robot Positioning*", University of Michigan, 1996.
- [6] D. Filliat, "*Robotique Mobile*", Cours à l'école Nationale Supérieure des Techniques avancées ENSTA (Paris), Octobre 2004.
- [7] B. Bayle, "*Robotique Mobile*", Ecole Nationale Supérieure de Physique de Strasbourg, Université Louis Pasteur, 2007.
- [8] O. Lefebvre, "*Navigation Autonome sans Collision pour Robots Mobiles non holonomes*", Thèse de Doctorat de l'Institut National Polytechnique de Toulouse, 2006.
- [9] G. Campion, « Structural Properties and Classification of Kinematic and dynamic Models of Wheeled Mobile Robots », IEEE Transactions on Robotics and automation, vol. 12, no. 1, page 47-62, 1996.
- [10] Frédéric Giamarchi, "Petits robots mobiles", ed. Dunod, 2006.
- [11] Dr Robot I90, "Wireless Networked Autonomus Mobile Robot with High Resolution Pan-Tilt-Zoom Camera", Quick Start Guide, 2010-2013.
- [12] Cours "Moteur courant continu.odt", Au lycée polyvalent Louis couffignal a Strasbourg, Juillet 2016.
- [13] [www.Dr Robot.com/products_item.asp?itemNumber=i90](http://www.DrRobot.com/products_item.asp?itemNumber=i90).
- [14] Cyril Drocourt, "Localisation et modélisation de l'environnement d'un robot mobile par coopération de deux capteurs omnidirectionnels", Thèse pour l'obtention du grade de docteur de l'université de technologie de Compiègne, février 2002.
- [15] Barnard Bayle, «Robotique mobile», Ecole National Supérieure de physique de Strasbourg Université Louis Paster, 2008-2009.
- [16] G. Campion, G. Bastin et B. D'Andréa-Noval. Structure Properties and Classification of Kinematic and Dynamic Models of Wheeled Mobile Robots. IEEE Transactions on Robotics and Automation, vol. 12, no. 1, pages 47-62, 1996.

- [17] Philipe Béguyot, Burno Chevalier et Hana Rothova, Le GPS en agriculture : Principes, applications et essais comparatifs, Educagri, 2004.
- [18] Dr Robot I90, «Wi Robot SDK Application Programming interface (API) reference Manuel-(for MS Windows)», Janurary 2010.
- [19] Y. AOUI, M. GOUDJIL. « Planification de trajectoire d'un robot mobile» Mémoire d'ingénieur d'état en électronique, Université de Batna Juin 1999.
- [20] O. DOUIBI, A.GHAMRI. «Réalisation d'un robot mobile autonome» Mémoire d'ingénieur d'état en électronique, Université de Biskra, Juin 2003.
- [21] S. YAHIAOUI, S. MERROUCHI. «Planification de mouvement d'un robot mobile» Mémoire d'ingénieur d'état en électronique, Université de Batna Juin 1997.
- [22] J.-Y. Fourquet et M. Renaud. Coordinated Control of a Non-Holonomic Mobile Manipulator. In ISER'1999, pages 115–125, Sydney, Australie, mars 1999.
- [23] G. Campion, G. Bastin et B. D'Andréa-Novel. Structural Properties and Classification of Kinematic and Dynamic Models of Wheeled Mobile Robots. IEEE Transactions on Robotics and Automation, vol. 12, no. 1, pages 47–62, 1996.