REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITEYAHIA FARES DE MEDEA



Faculté de **T**echnologie

Mémoire de fin d'études de Master

Filière : Génie Electrique
Spécialité : Automatique

Navigation avec évitement d'obstacle d'un robot mobile à deux roues motrices

---

Présenté par :

BOUYAHIA Mohamed Rédha

KOUADRI Fares Islem

Proposé et Dirigé par :

HENINI Noureddine

Promotion 2020

Dédicace

Pour compléter ma réussite je dédie ce travail à mes parents qui représentent ma vie et mon bonheur, qui n'ont jamais cessé d'être là pour moi, et qui ne ménagent aucun effort pour ma réussite

A mon frère et ma sœur

A ma grande famille sans exception..

A tous mes amis de près ou de loin, à tous ceux qu'ont faits partie de ma vie un jour…

A tous mes copains de toujours, ceux d'enfance, de

mon village de mon parcours scolaire de l'université,

sans trop citer les noms si non j'aurais pas de place

pour mon mémoire.

A toute personne qui ma aidé de près ou de loin

pour réussir ce modeste travail

Redha

Dédicace

Louange à dieu le tout puissant, prière et salut sur le prophète Mohamed que le salut sur lui.

Je remercie dieu et grâce à lui que je suis arrivée à ce niveau.

Je dédie ce modeste travail à : Mon père et ma mère qui m'encouragent beaucoup. Mes frères. Tous les membres de ma grande famille. A Tous mes collège de l'université et du département surtout. Toute personne ayant participé de loin ou de près pour la réalisation de ce travail.

fares

Remerciement

Nos remerciements s'adressent à Dieu qui nous a donné la force et la patience d'accomplir ce projet de fin d'étude.

Nous tenons à remercier notre promoteur Mr N.HENNI pour son aide et ses conseils durant l'élaboration de ce projet.

Nous remerciions également les membres de jury qui feront l'honneur de juger notre travail, d'apporter leurs réflexions et suggestions scientifiques.

Nous exprimons notre profonde gratitude à tous les enseignants, et le personnel qui ont contribué à notre réussite pendant nos études.

Nos remerciements les plus chaleureux s'adressent à nos familles qui nous ont tant sacrifiés pour notre réussite.

Nos derniers remerciements s'adressent à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce projet.

ملخص:

في مذكرتنا هذه هدفنا هو دراسة ومحاكاة روبوت مناور متحرك يتم التحكم فيه من خلال حساب عزم الدوران مع التحكم النسبي والمتكامل والمشتق.

الجزء المتحرك من الروبوت يضمن تنقل الروبوت إلى المكان الذي يجب على الجزء المناور الوصول إليه وإتمام مهمته.

من خلال بحثنا استنتجنا أن هذا النوع من الأوامر ينطبق على النموذج الديناميكي للروبوت الذي هو نظام خطي.

تعطى جميع نتائج المحاكاة التي تم الحصول عليها في هذه المذكرة بالاستعانة ببرنامج ماتلاب

Résume :

Dans cette mémoire, notre objectif est d'étudier et de simuler un robot manipulateur mobile contrôlé par calcul de couple avec contrôle proportionnel, intégral et dérivé.

La partie mobile du robot garantit que le rebot est déplacé vers l'endroit où le manipulateur doit atteindre et terminer sa tâche.

Grace à nos recherches, nous avons conclu que ce type de commande s'applique au modèle dynamique d'un robot, qui est un système linéaire.

Tous les résultats de simulation obtenus dans ce travail sont donnés à l'aide de MATLAB.

Abstract :

In this project, our aim is to study and simulate a movable manipulator robot controlled by torque calculation with propotional,integral and derivative control.

The moving part of the robot ensures that the robot is moved to the place where the manipulator must reach and complete its task.

Through our research we concluded that this type of command applies to the dynamic model of a robot which is a linear system.

All Simulation results are given in this thesis under the "Matlab" software.

Table des Matières

Introduction générale…… 1

Chapitre I : Généralité sur la robotique

I.1) Introduction…… 3

I.2) Généralité sur la robotique…… 3

I.2.1) Historique……... 3

I.2.2) Définition…… 4

I.2.3) Les types des robots…… 4

I.2.4) Classification des robots mobiles……... 5

I.2.5) Application…….. 6

I.2.5.1) Robot militaire…….. 7

I.2.5.2) Robot médecine…… 8

I.2.5.3) Robot industriel…… 9

I.2.5.4) Robot sécurité civile……. 9

I.2.5.5) Robot industriel nucléaire……. 10

I.2.5.6) Robot construction BTP…… 11

I.2.6) Caractéristique d'un robot…….. 11

I.3) Avantages et Inconvénient…… 12

I.4) Conclusion…… 13

Chapitre II : Robot mobile à deux roues motrices

II.1) Introduction……. 14

II.2) Les robots mobiles à roue…… 14

II.2.1) Unicycle…….. 14

II.2.2) Tricycle……... 15

II.2.3) Type voiture…… 16

II.2.4) Omnidirectionnel…… 16

II.3) Architecture générale…… 17
II.4) Généralité sur les capteurs…… 18
II.4.1) Définition des capteurs…… 19
II.4.2) Classification des capteurs…….. 19
II.4.3) Les types des capteurs……. 19
II.4.3.1) Capteur interne……... 19
II.4.3.1.1) Les Capteurs de déplacement…….. 20
II.4.3.1.1.1) Les odomètres…….…… 20
II.4.3.1.1.2) Les accéléromètres……..… 20
II.4.3.1.2) Les capteurs d'attitude……. 20
II.4.3.1.2.1) Les gyroscopes…….……. 20
II.4.3.1.2.2) Les gyrocompas……..…..….. 20
II.4.3.2) Les capteurs externe……..…… 20
II.4.3.2.1) Les capteurs télémétrique…….…… 21
II.4.3.2.1.1) Les capteurs laser……..... 21
II.4.3.2.1.2) Les capteurs infrarouge…… 21
II.4.3.2.1.3) Les capteurs ultrasons……..... 21
II.4.3.2.1.3.1) La réflexion de l'onde…….. 21
II.4.3.2.1.3.2) La zone aveugle……... 23
II.5) Modélisation du robot…….. 25
II.5.1) Modèle cinématique du robot unicycle……... 25
II.5.1.1) Introduction…… 25
II.5.1.2) Définition…… 25
II.5.1.3) Le modèle d'actionnement……. 26
II.5.2) Odométrie des roues…… 32
II.5.3) Modélisation des capteurs…… 37
II.6) Conclusion……. 38

Chapitre III : Les stratégies et navigation

III.1) Introduction……. 39
III.2) Navigation des robots mobiles…… 39
III.3) Les stratégies de navigation…… 40

III.3.1) Approche d'un objet…….. 41
III.3.2) Guidage…….. 41
III.3.3) Actions associés d'un lieu…….. 41
III.3.4) Navigation topologique…….. 42
III.3.5) Navigation métrique……... 42
III.4) Navigation réactive…….…..... 43
III.4.1) Méthode de bug…….. 43
III.5) Navigation avec évitement d'obstacle……. 45
III.5.1) Les stratégies d'évitement d'obstacle……. 46
III.6) Localisation d'un robot mobiles…….. 48
III.6.1) Les techniques de localisation…… 48
III.6.1.1) Localisation relative……... 48
III.6.1.1.1) L'odométrie……... 49
III.6.1.1.2) La vélocimétrie…….. 49
III.6.1.1.3) Les capteurs inertiels……. 49
III.6.1.2) Localisation absolue……... 49
III.7) Résultats de simulation……. 51
III.8) Conclusion…… 53
Conclusion générale……... 54
Bibliographie…….. 72

Liste des figures

Figure I.1) Robot militaire terrestre…… 8

Figure I.2) Robot chirurgical Da Vinci…… …….. 8

Figure I.3) Robot industriel FANUC M20iA…….. 9

Figure I.4) Robot sécurité civile…….. 10

Figure I.5) Robot industriel nucléaire……. 10

Figure I.6) Robot construction BTP……. 11

Figure II.1) Robot unicycle et leur paramétrage…….. 14

Figure II.2) Robot tricycle…… 15

Figure II.3) Robot type voiture…… 16

Figure II.4) Robot omnidirectionnel…… 17

Figure II.5) Architecture du robot avec le détail des différents composants et communications…….. 18

Figure II.6) Obstacle perpendiculaire à l'axe du capteur détecté……... 22

Figure II.7) Obstacle en biais non détecté par le capteur…… 23

Figure II.8) Obstacle en biais détecté par le capteur……... 23

Figure II.9) Différenciation plan coin et arête……. 24

Figure II.10) Types des capteurs……. 25

Figure II.11) Les défirent types des capteurs…….. 25

Figure II.12) Paramétrage du robot mobile à entrainement différentiel…….. 27

Figure II.13) Roulement sans glissement…… 28

Figure II.14) Schémas de différents déplacements possibles avec un robot mobile à roues de type unicycle…….. 28

Figure II.15) Modélisation du robot unicycle…… 30

Figure II.16) Exemple d'un disque et des capteurs optiques A et B pour un encodeur rotatif (a) avec les signaux correspondants (b)……..... 33
Figure II.17) Modélisation de l'odométrie du robot permettant d'estimer la position du robot à partir des mesures des codeurs incrémentaux des roues (CIR = centre instantané de rotation)…… 36
Figure III.1) Schéma simplifié des taches de la navigation……. 40
Figure III.2) Les stratégies de navigation…… 40
Figure III.3) Stratégie de navigation : action associé à un lieu……... 42
Figure III.4) Navigation topologique(a), Navigation métrique(b)……... 43
Figure III.5) Le principe des méthodes bug……. 44
Figure III.6) Un exemple de navigation utilisant un algorithme Bug…….. 44
Figure III.7) L'emplacement des ensembles flous pour l'évitement d'obstacle……... 46
Figure III.8) Les fonctions d'appartenances d'évitement d'obstacle…… 48
Figure III.9) Système de localisation par repérage de balises actives…….. 51
Figure III.10) Système de localisation par repérage de balises passives…….. 51
Figure III.11) Trajectoire du robot…… 52
Figure III.12) la vitesse du robot…… 53
Figure III.13) L'angle de rotation par rapport un repère mobile…… 53
Figure III.14) L'angle de rotation par rapport un repère fixe……. 54

Liste des tableaux

Tableau I.1: Les composants d'un Robot mobile…… 5
Tableau I.2 : Applications des robots mobiles..... 7
Tableau II.1 : Paramètres du modèle du robot unicycle……. 30
Tableau III.1 : Règles d'inférence du contrôleur d'évitement d'obstacles……. 47

Introduction générale

Introduction générale :

Les robots mobiles feront bientôt une partie intégrante de notre vie quotidienne.
Le progrès en robotique mobile s'est avancé en un point où il devient possible de construire des robots qui peuvent agir dans nos bureaux, maisons, écoles, hôpitaux et laboratoires de recherches. Les robots rempliront bientôt plus de rôles que leurs applications courantes en tant qu'assembleurs industriels et jouets d'enfants. Nous avons maintenant atteint un point où nous pouvons concevoir des robots qui peuvent agir en tant qu'associés avec nous (enseignants, assistants de santé, assistants domestiques, chirurgiens, acteurs et collaborateur scientifiques) au lieu d'être simplement un outil ou un jouet ! Cela signifie que nous pouvons nous attendre à ce que le robot mobile agisse et réagisse d'une manière autonome comme un être humain, par exemple, comprendre nos directions pour accomplir une tâche, nous guider à apprendre quelques informations et nous aider quand nous aurions besoin d'un coup demain.

L'une des problématiques dans le domaine de la robotique mobile est la navigation et la localisation du robot tout en évitant les obstacles. Parmi les techniques de navigation, la navigation vers un point dans l'espace. Cette méthode a une grande simplicité de réaliser la navigation d'un robot dans diverses conditions, notamment sans connaissance à priori de l'environnement.

Deux objectifs sont assignés à ce travail. Le premier objectif c'est d'affuter nos connaissances théoriques sur la simulation et la modélisation des robots mobiles. Le deuxième objectif, c'est de l'utilisation ou la simulation avec les langages de programmation et la simulation surtout sur **matlab (simulink)**

Le travail décrit dans ce présent document est structuré en une introduction, trois chapitres, une conclusion ainsi que des références bibliographiques,

Dans un premier temps, nous donnons quelques généralités concernant la robotique mobile en général.

Ce chapitre commence par l'histoire et la définition de la robotique. Puis, leurs types et application et on se termine par les caractéristiques.

Le deuxième chapitre commence par une étude des robots mobiles à roue, de leur architecteur. Puis, on parle sur les capteurs de façon générale et on se termine par la modélisation du robot.

Le dernier chapitre nous discutons sur les stratégies de navigation d'un robot mobile et ont basé sur l'évitement d'obstacle et on termine par les résultats de simulation.

CHAPITRE I:

Généralité sur la robotique

I.1) Introduction :

Ce chapitre est consacré à la présentation générale sur la robotique et les robots mobiles manipulateurs et leurs composants, tout en illustrant leurs différentes caractéristiques et domaine d'application.

En commençant par une généralité en robotique ensuit un brin d'histoire dans ce vaste domaine et puis on va citer les types des robots et les domaines d'application et on va terminer par leurs caractéristiques

I.2) Généralité sur la robotique :

Dans les temps modernes tout le monde sait ce qui un robot, mais il est très dur de lui donner une définition exacte mais en général un robot c'est une machine programmée pour être capable d'accomplir une série complexe d'actions automatiquement. [1]

I.2.1) Historique :

Le concept de robot mobile autonome est apparu vers la fin des années soixante, de deux sources totalement différentes : tout d'abord des recherches menées au StanfordResearch Institute sur les possibilités d'équiper des machines de capacités de déduction et de réaction logique à des événements extérieurs. On a ainsi construit Shakey, machine à roues reliée à un ordinateur et équipée d'une caméra lui permettant d'acquérir des images de son environnement. Elle évolue dans un univers de cubes et de pyramides de tailles et de couleurs différentes. Shakey a pour mission de prendre un objet et de le porter ailleurs, quel que soit sa position ; chaque mission dure près de cinquante minutes.

D'autre part, l'industrie nucléaire a besoin de machines permettant d'agir à distance dans des environnements encombrés et inaccessibles à l'homme. L'entreprise américaine Général Electric développe alors un quadrupède pour essayer de résoudre ce problème, tandis que les projets Luna et Mars Rover s'échafaudent dans le but d'explorer des planètes sans que l'homme ne prenne part au voyage.

Pendant plusieurs années, laboratoires, industriels, informaticiens et mécaniciens vont continuer leurs travaux en parallèle. On accède ainsi côté industriel à la télé-opération et à une partie de la robotique classique, tandis que du côté informatique, on assiste à de grands progrès dans le domaine de l'intelligence artificielle. Ainsi, vers la fin des années soixante-

dix, trois pôles géographiques principaux se distinguent (France, Japon, Etats-Unis). La synthèse de tous les travaux réalisés jusqu'alors donne enfin naissance aux robots mobiles autonomes (du robot domestique au robot militaire).

L'industrie de production, les sociétés d'exploitation minière, les expéditions de recherche sous-marine... Les domaines d'utilisation de robots autonomes sont très variés, allant de la production en chaîne dans une usine de voitures à l'exploration d'autres planètes, comme c'est le cas avec Mars Pathfinder, robot mobile autonome d'exploration de la planète Mars.

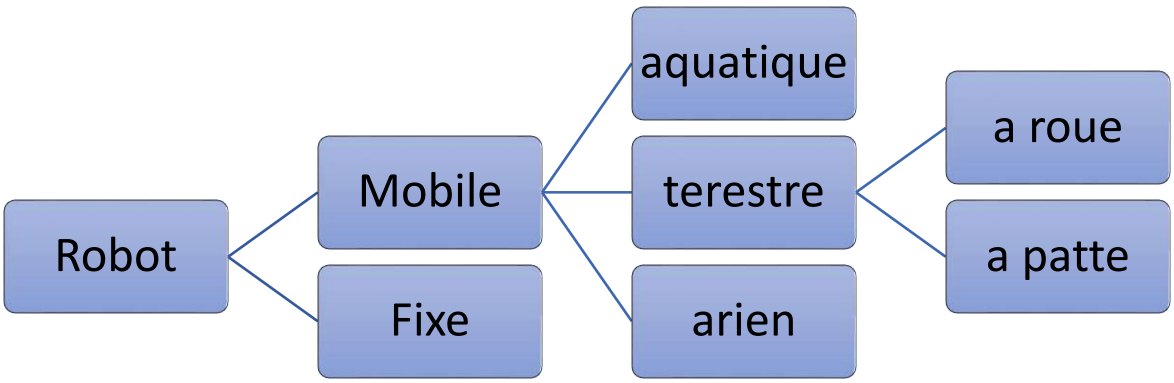
C'est dans cet environnement de plus en plus automatisé que se fait sentir le besoin d'outils capables, non seulement d'effectuer des tâches répétitives ou encore impossibles à l'homme (porter des charges lourdes, découpage ultra précis, …), mais aussi de manifester une certaine autonomie de déplacement dans des milieux hostiles à l'homme. On en voit désormais les applications sur des chantiers tels que le désamiantage d'immeubles, la décontamination radioactive, les expériences en milieu dangereux… Aussi a-t-on besoin de robots mobiles autonomes capables de se déplacer d'un point à un autre sur une simple demande de l'utilisateur, qui n'a ainsi plus besoin d'être un expert en pilotage. Le meilleur exemple de planification complexe de la trajectoire est fourni par les drones, ces robots volants destinés aussi bien à l'espionnage militaire qu'aux études botaniques nécessitant des prises de vues aériennes. [2]

I.2.2) Définition :

Etymologiquement, le mot robot vient du tchèque robota qui signifie travail ; il désigne un système automatique asservi à une unité de commande informatisée. Un robot est un ensemble de mobiles associés dont les mouvements sont commandés numériquement et synchronisés. Chaque mouvement élémentaire est un axe de commande numérique. Cependant un robot n'est qu'une machine programmable qui ne fait qu'exécuter ce que l'homme lui a appris.[2]

I.2.3) Les types des robots :

Les robots peuvent être classifiés, voir répartis selon les opérations souhaitées où les tâches à faire. Mais surtout, on distingue deux catégories. À savoir, mobile et fixe. Les robots sont très différents les uns des autres, car ils exercent dans des environnements à part mais aussi avec des capacités distinctes. [1]



Tab I.1: Les composants d'un Robot mobile.

Les robots fixes sont généralement des robots manipulateurs industriels ou ils effectuent spécialement des tâches répétitives et pénibles comme la soudure ou la peinture des pièces de voiture à l'aide des capteurs et les interférences homme machine. Ils sont de plus en plus utilisés grâce leur précision et leur grande vitesse d'exécution. [1]

Par contre les robots mobiles bouge de partout et accomplissent beaucoup de taches des fois en les trouve dans des endroits moins adapter à des robots donc ils sont disposés à s'adapter à des situations peux probables. [1]

Il n'y a pas une similitude nette entre les tâches effectuées par les robots fixes et les robots mobiles mais il est pratique de considérer les deux classes comme fondamentalement différents. En particulier, les robots fixes sont attachés à un support stable sur le terrain, de sorte qu'ils peuvent calculer leur position en fonction de leur état interne, tandis que les robots mobiles doivent s'appuyer sur leur perception de l'environnement pour calculer leur emplacement.

I.2.4) Classification des robots mobile :

Une classification est proposée dans la littérature qui définit le degré d'autonomie du robot mobile.

- Véhicule télécommandé par un opérateur qui lui impose chaque tâche élémentaire à réaliser.

• Véhicule télécommandé au sens de la tâche à réaliser. Le véhicule contrôle automatiquement ses actions.

• Véhicule semi-autonome réalisant sans l'aide de l'opérateur des tâches prédéfinies.

• Véhicule autonome qui réalise des tâches semi-définies. Ce type de véhicule pose des problèmes d'un niveau de complexité élevé de représentation des connaissances, de capacité décisionnelle et de génération de plans qui sont résolus à bord dans la mesure du possible.

L'ensemble des problèmes particuliers liés à la conception de tels robots sont :

• La conception mécanique liée à la mobilité

• La détermination de la position et de la latitude (orientation)

• La détermination du chemin optimal pour atteindre le lieu de la tâche.

I.2.5) APPLICATIONS:

Le domaine d'application des robots mobiles est vaste, nous présentons quelques applications dans le tableau suivant :

Militaire	- surveillance, patrouille - pose d'explosifs - manipulation de munitions
Médecine	- assistance d'urgence - aide aux handicapés physiques, aux aveugles
Industriel	- convoyage - surveillance
Industrie nucléaire	- surveillance de sites - manipulation de matériaux radioactifs - démantèlement de centrales

Sous-marine	- pose de câbles - recherche de nodules - recherche de navires immergés - inspection des fonds marins
Sécurité civile	- neutralisation d'activité terroriste - déminage - pose d'explosif - surveillance de munitions
Chimique	- surveillance de site - manipulation de matériaux toxiques
Agricole	- cueillette de fruits - traite, moisson, traitement des vignes…
Espace	- exploration
Lutte contre l'incendie	- localisation d'une source d'incendie - détection de fumée - suppression de flammes
Construction BTP	- projection mortier - lissage du béton
Nettoyage	- coque de navire - nettoyage industriel

Tableau I.2 : Applications des robots mobiles

I.2.5.1) Le robot Militaire :

Les robots sont beaucoup utilisés par l'armée pour simplifier la vie des soldats et limiter les pertes humaines, en voici quelques catégories :

-les robots démineurs.

-les drones.

-les robots de combat.

et bien d'autres...



Figure I.1 : Robot militaire terrestre

I.2.5.2) Le robot Médecine :

Un robot médical est un système utilisé dans le cadre d'une application thérapeutique, par exemple lors d'une chirurgie ou au cours d'un programme de réhabilitation neuro motrice. Il fait partie du domaine de la robotique. Du fait des contraintes importantes en matière de sécurité, ce type de robot est en général doté d'un faible niveau d'autonomie. [3]

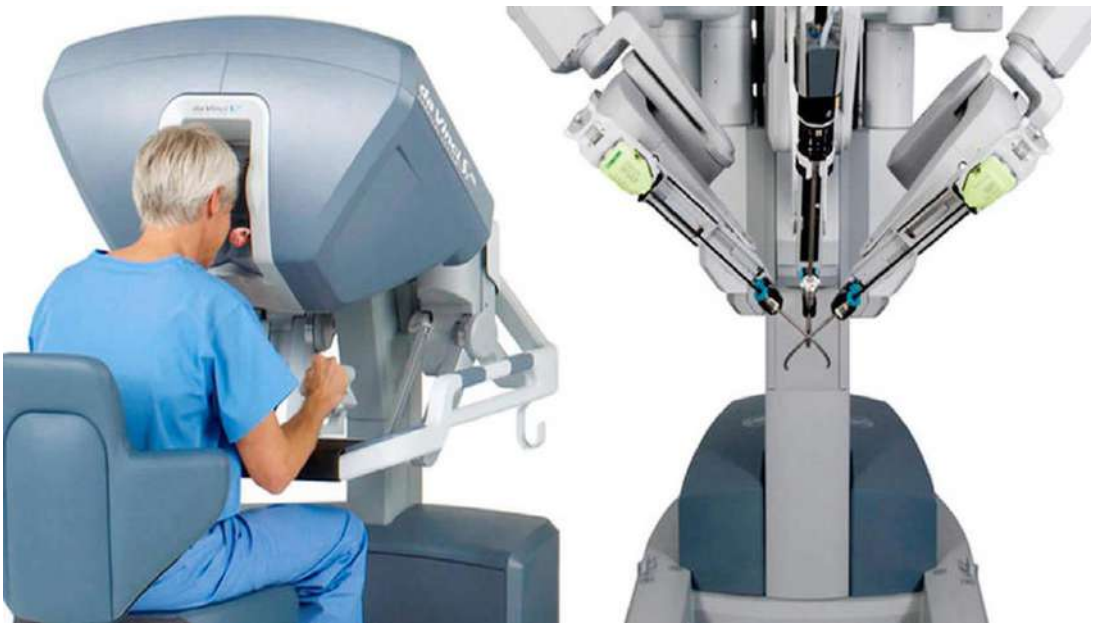


Figure I.2 : Robot chirurgicale Da Vinci

I.2.5.3) robot industriel :

Un robot industriel est une machine poly articulée programmable et reprogrammable, dont le but est la saisie ou le déplacement d'objet suivant plusieurs degrés de liberté, utilisée pour des tâches d'automatisation industrielle. [4]

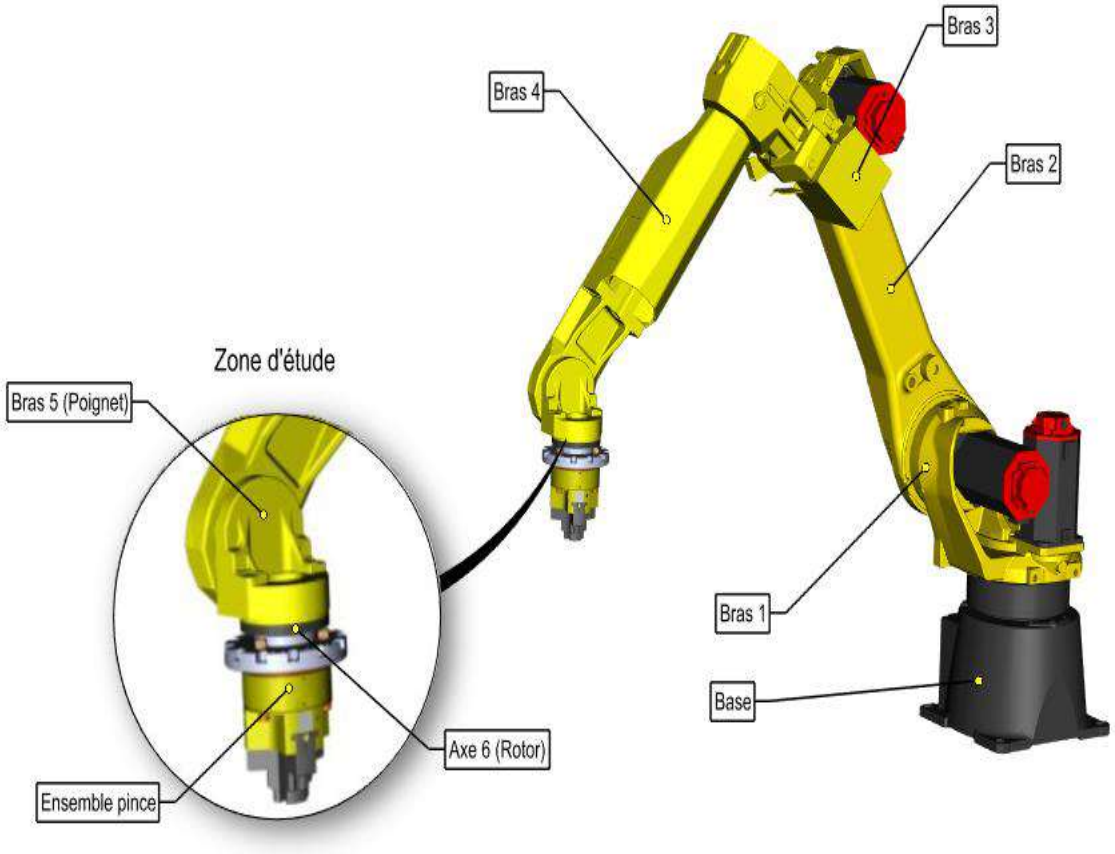


Figure I.3 : Robot industriel FANUC M20i A

I.2.5.4) robot sécurité civile :

Le premier principe robotique consiste à protéger les êtres humains contre toute atteinte causée par un robot. Par exemple, la mise en œuvre par un professionnel d'un robot de soins qui viendrait à blesser les personnes bénéficiant du service, faute d'entretien ou en raison d'un mauvais réglage.[5]



Figure I.4 : Robot sécurité civile

I.2.5.5) Robot industriel nucléaire :

La moyenne robotique mis en œuvre pour le nettoyage de les centres nucléaire ont suscité un grand intérêt et amené à entreprendre des recherches sur la meilleur façon d'utiliser les robots.



Figure I.5 : Robot industriel nucléaire

I.2.5.6) Robot construction BTP :

Comme tous les secteurs d'activité, le bâtiment est entré dans la révolution numérique. Dès aujourd'hui des pans entiers sont automatisables.

Des bras démolisseurs aux imprimantes 3D en passant par les robots maçons, les machines sont de plus en plus présents sur les chantiers. Et ce n'est que le début, les robots devant toujours plus performants avec l'intégration de l'Intelligence Artificielle.



Figure I.6 : Robot construction BTP

I.2.6) Caractéristiques d'un robot :

Un robot doit être choisi en fonction de l'application qu'on lui réserve. Voici quelques paramètres à prendre, éventuellement, en compte:

a) La charge maximale transportable

b) Le volume de travail

c) Le positionnement absolu

d) La répétitivité

e) La vitesse de déplacement

I.3) Avantages et inconvénients des robots :

Un système robotique consiste non seulement des robots mais aussi d'autres dispositifs et systèmes qui sont utilisés avec le robot pour effectuer la tâche nécessaire. Les avantages des robots sont Robotique et automatisation peut dans de nombreuses situations d'accroître la productivité, la sécurité, l'efficacité, la qualité et la cohérence des produits.

- Les robots peuvent travailler dans un environnement dangereux, sans le besoin de soutien de la vie, ou les préoccupations concernant la sécurité.
- Robots n'ont pas besoin de l'éclairage, la climatisation, de ventilation et de protection contre le bruit.
- Robots travailler continuellement, sans ressentir une fatigue ou l'ennui, et ne nécessitent pas une assurance médicale ou de vacances.
- Les robots sont de précision répétable à tous les moments, sauf si quelque chose arrive à eux ou ils s'usent.
- Les robots peuvent être beaucoup plus précis que les humains. Précision linéaire d'un robot typiquement est de 20 à 10 microns.

L'inconvénient des robots est qu'ils manquent de capacité de réagir en cas d'urgence, à moins que les situations comprises et les réponses sont inclut dans le système. Les mesures de sécurité nécessaires pour s'assurer qu'ils ne lèsent pas les opérateurs et n'endommagent les machines qui travaillent avec eux. Inconvénients des robots comprennent :

- ✓ Réponse inadéquate ou mal.
- ✓ Le manque de pouvoirs prendre une décision.
- ✓ Consommation de l'énergie.
- ✓ Ils peuvent causer des dommages à des autres appareils, et la blessure de l'homme.

Bien que les robots ont de bonnes certaines caractéristiques mais aussi ont ces caractéristiques limités comme la capacité à degré de liberté, la dextérité, capteurs, système de vision et la réponse en temps réel. Les robots sont coûteux en raison du: coût initial de l'équipement, le coût d'installation, le besoin de périphériques, le besoin de formation et la nécessité de la programmation.

I.4) Conclusion :

En conclusion, dans ce chapitre nous pouvons dire que les robots mobiles ont une grande importance dans tous les domaines et pour faire fonctionner se mécanisme mécatronique, il faut l'étudier et le commander et le modéliser et pour finir le programmer pour qu'il soit enfin prêt à exécuter des tâches planifiées.

Chapitre II :
Robot mobile à roues

II.1) Introduction :

Dans ce chapitre on va étudier les robots mobiles à deux roues motrices après qu'on a donné une vue globale de la robotique précédemment.

Premièrement on va commencer par citer les différents types de robots mobiles à roue en donnant une généralité sur les capteurs utilisables dans le domaine de la robotique.

A la fin, on conclut par la modélisation de robot mobile à roue.

II.2) Les robots mobile à roue :

La mobilité par roues est la structure mécanique la plus communément appliquée. Cette technique assure selon l'agencement et les dimensions des roues un déplacement dans toutes les directions avec une accélération et une vitesse importante. Le franchissement d'obstacle ou l'escalade de marches d'escalier est possible dans une certaine mesure. Toutes les configurations (nombre, agencement, fonction) des roues sont appliquées. [6]

Il existe quatre types de robot mobiles à roues

II.2.1) Unicycle :

Le robot Unicycle est un véhicule non holonome à conduite différentielles. Il possède 2 roues motrices indépendantes non orientables sur le même axe et une roue décentrée orientable libre « roue folle » qui assure la stabilité du véhicule.



Figure II.1 : Robot unicycle

II.2.2) Tricycle :

Un robot mobile de type tricycle est constitué de deux roues fixes placées sur un même axe et d'une roue centrée orientable placée sur l'axe longitudinal. Le mouvement du robot est donné par la vitesse des deux roues fixes et par l'orientation de la roue orientable. Son centre de rotation est situé à l'intersection de l'axe contenant les roues fixes et de l'axe de la roue orientable. C'est un robot non-holonome. En effet, il est impossible de le déplacer dans une direction perpendiculaire aux roues fixes. Sa commande est plus compliquée. Il est en général impossible d'effectuer des rotations simples à cause d'un rayon de braquage limité de la roue orientable [7]



Figure II.2 : Robot mobile tricycle

II.2.3) Type voiture :

Un robot mobile de type voiture est semblable au tricycle, il est constitué de deux roues fixes placées sur un même axe et de deux roues centrées orientables placées elles aussi sur un même axe.

Le robot mobile de type voiture est cependant plus stable puisqu'il possède un point d'appui supplémentaire. Toutes les autres propriétés du robot voiture sont identiques au robot tricycle, le deuxième pouvant être ramené au premier en remplaçant les deux roues avant par une seule placée au centre de l'axe, et ceci de manière à laisser le centre de rotation inchangé. [8]



Figure II.3 : Robot mobile type voiture

II.2.4) Omnidirectionnel :

Un robot mobile est dit omnidirectionnel si l'on peut agir indépendamment sur les vitesses : vitesse de translation selon les axes $\vec{x}$et $\vec{y}$et vitesse de rotation autour de $\vec{z}$ D'un point de vue cinématique on montre que cela n'est pas possible avec des roues fixes ou des

roues centrées orientables On peut en revanche réaliser un robot omnidirectionnel en ayant recours à un ensemble de trois roues d´excentrées orientables ou de trois roues suédoises disposées aux sommets d'un triangle équilatéral. [7]



Figure II.4 : Robot omnidirectionnel

II.3) Architecture générale :

Il est possible de décomposer le robot mobile en trois blocs fonctionnels différents. Tout d'abord le robot mobile doit pouvoir se déplacer afin d'effectuer ses taches. Il a donc besoin d'actionneurs, qui dans le cas présent, sont des moteurs sans charbon. Ensuite, le robot doit s'adapter à son environnement. Il a donc besoin de capteurs lui permettant d'obtenir des informations sur le monde qui l'entoure, mais aussi sur son état interne. Enfin, pour exploiter les données des capteurs et décider des actions à exécuter, le robot a besoin d'un calculateur qui va lui permettre de mener à bien sa mission.

La description "haut niveau" de l'organisation du robot avec le détail des différents blocs est schématisée par la figure II.5 les principaux composants équipant le prototype développé au cours du projet y sont détaillés, ainsi que les relations et communications entre les différents éléments. Le système de locomotion du robot repose sur l'utilisation de roues. Plus précisément, le robot est basé sur le principe de la conduite différentielle, qui consiste à utiliser deux roues motrices actionnées de manière indépendante. Généralement, une ou deux

roues additionnelles non motorisées sont ajoutées pour assurer l'équilibre et la stabilité de l'ensemble. En contrôlant la vitesse et le sens de rotation des deux moteurs associés aux roues, il est alors possible de déplacer le robot. Ce mode de locomotion a pour avantage d'être simple à mettre en œuvre et donc à contrôler. De plus, sur des surfaces planes, ce mode de locomotion possède un bon rendement énergétique, mais qui se dégrade assez vite d`es lors que le terrain devient plus chaotique comme dans certains environnements extérieurs. En effet, sur un terrain boueux ou générant de nombreux glissements, le robot va beaucoup plus solliciter les moteurs afin de contrecarrer les glissements et de maintenir sa vitesse.

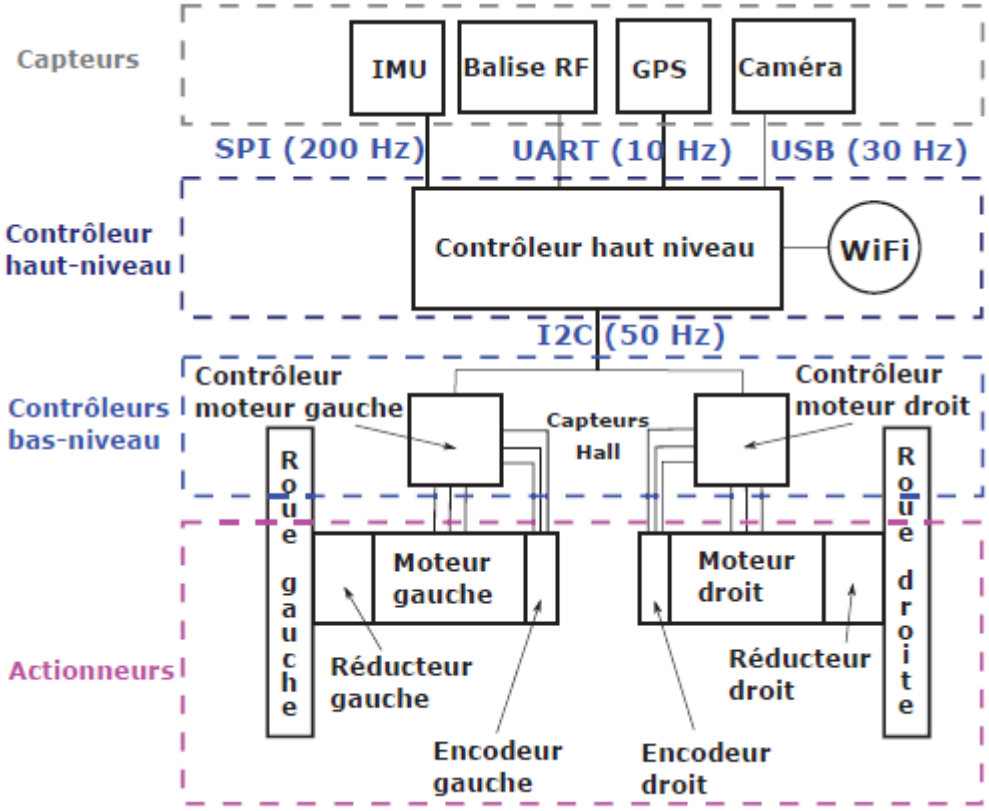


Figure II.5 : Architecture du robot avec le détail des différents composants et communications

II.4) Généralité sur les capteurs :

L'importance des capteurs dans un tel travail est le contrôle rigoureux du robot mobile, donc la connaissance et de l'état de l'environnement et de l'état du système lui-même, c'est ce qui permet un bon suivi de la trajectoire prédéfinie et une meilleure orientation au travail alloué.

II.4.1) Définition des capteurs :

Un capteur est un dispositif qui transforme l'état d'une grandeur physique observée en une grandeur utilisable. En d'autres termes, les capteurs prélèvent une information sur le comportement de la partie opérative et la transforment en une information exploitable par la partie commande (donc sous une forme électrique). Le but étant de faire évoluer le système aux caractéristiques de l'environnement extérieur.

II.4.2) Classification des capteurs :

La classification des capteurs est réalisée suivant les phénomènes qu'ils mesurent : force, énergie, distance, champ magnétique etc.…

Par conséquent, la classification peut être élaborée suivant que les capteurs utilisent un phénomène physique générateur de tension ou de courant, on parle alors de capteurs actifs, ou qu'ils nécessitent une source d'alimentation pour pouvoir traduire la variation du phénomène en tension, ce sont alors des capteurs passifs. Ils peuvent se classer aussi selon la forme de l'information qu'ils délivrent (analogique ou numérique). La figure suivante montre les deux types de capteurs qu'on doit trouver sur un robot mobile et qui sont :

• Les capteurs externes (extéroceptifs) qui permettent de fournir certaines connaissances de l'environnement de travail.

• Les capteurs internes (proprioceptifs) qui renseignent sur l'état du robot et qui permettent de connaître la trajectoire suivie par le robot.

II.4.3) Les types des capteurs :

II.4.3.1) Capteurs internes :

Dans les procédures mécaniques, ces capteurs fournissent, par intégration, des informations élémentaires sur les paramètres cinématiques du robot, permettant ainsi un contrôle permanent de la bonne exécution du mouvement. Les informations sensorielles gérées dans ce cadre sont généralement des vitesses, des accélérations, des angles de giration ou des angles d'attitude.

On peut regrouper ces capteurs internes en deux familles :

II.4.3.1.1) Les capteurs de déplacement :

Comprennent les odomètres, les accéléromètres, les radars Doppler et les mesureurs optiques.

II.4.3.1.1.1) Les odomètres :

Les odomètres permettent de fournir une quantification des déplacements curvilignes du robot en mesurant la rotation de ses roues. Le calcul de la position relative du robot est réalisé par intégration des rotations élémentaires des roues.

II.4.3.1.1.2) Les accéléromètres :

Un accéléromètre fournit, en sortie, une tension proportionnelle à l'accélération linéaire dans une direction fixée par sa géométrie.

II.4.3.1.2) Les capteurs d'attitude :

Les capteurs d'attitude permettent d'estimer les paramètres intrinsèques du robot que sont les angles de cap, de roulis et de tangage.

II.4.3.1.2.1) Les gyroscopes :

Le gyromètre est un capteur qui permet de mesurer une vitesse angulaire.

II.4.3.1.2.2) Les gyrocompas :

Le gyrocompas est un capteur qui permet de mesurer le cap. Il est composé d'un gyroscope et d'un compas magnétique. Le gyrocompas conserve le nord magnétique durant tout le déplacement du véhicule, après l'avoir initialement déterminé de façon autonome.

II.4.3.2) Les capteurs externes :

Les capteurs extéroceptifs permettent de percevoir le milieu d'évolution du robot. Ils sont généralement le complément indispensable aux capteurs présentés précédemment. Des méthodes de fusion de données seront alors utilisées pour conditionner et traiter les informations sensorielles de natures différentes. Deux familles de capteurs extéroceptifs

embarqués peuvent être identifiées : les capteurs télémétriques et les systèmes de vision. Ces capteurs servent pour les actions suivantes :

- vérification et amélioration de la trajectoire suivie par le robot.

- mesure des interactions entre le robot et l'environnement

- perception de l'environnement.

- prévention et sécurité.

II.4.3.2.1) Les capteurs télémétriques :

Le fonctionnement des capteurs utilisés classiquement en robotique mobile est présenté dans les sections suivantes. Les lasers d'abord puis les capteurs à infrarouge sont introduits. Les capteurs à ultrasons sont ensuite développés plus abondamment.

II.4.3.2.1.1) Les capteurs laser :

Le capteur laser est basé sur l'émission d'une onde électromagnétique structurée. Ce capteur permet donc d'obtenir un faisceau d'ondes très concentré, contrairement aux capteurs ultrasonores.

II.4.3.2.1.2) Les capteurs à infrarouge :

Les mesures de distance peuvent être faites par triangulation, mesure d'intensité et mesure de temps de vol. On a aussi parfois des angles d'ouverture importants à l'émission.

II.4.3.2.1.3) Les capteurs à ultrasons :

Contrairement aux autres types de capteurs, ceux-ci émettent une onde qui se propage dans l'air (le plus souvent). Cela augmente beaucoup le temps d'acquisition, la vitesse du son étant très faible devant celle de la lumière.

II.4.3.2.1.3.1) La réflexion de l'onde :

Seuls les objets perpendiculaires à un rayon émis sont détectables. L'onde émise n'est pas très directive (typiquement entre 20 et 30 degrés de cône d'ouverture). Cela permet de détecter plus d'obstacles, mais on ne dispose alors plus d'information précise sur l'angle de mesure (figures II.6, II.7 et II.8). On sait seulement que l'onde mesurée est réfléchie perpendiculairement à l'obstacle rencontré.

Se posent aussi les problèmes classiques du rebond multiple et de l'écho multiple qui gênent la mesure. Ils sont le plus souvent considérés comme des perturbations (mesure trop grande due à un rebond multiple par exemple). Mais, dans certain cas, un second écho peut permettre de détecter un obstacle derrière un autre (objet derrière un pied de chaise par exemple).

Malgré ces inconvénients, ce type de capteurs est très utilisé en robotique mobile d'intérieur. En effet, sa mise en œuvre est simple et il est peu coûteux.

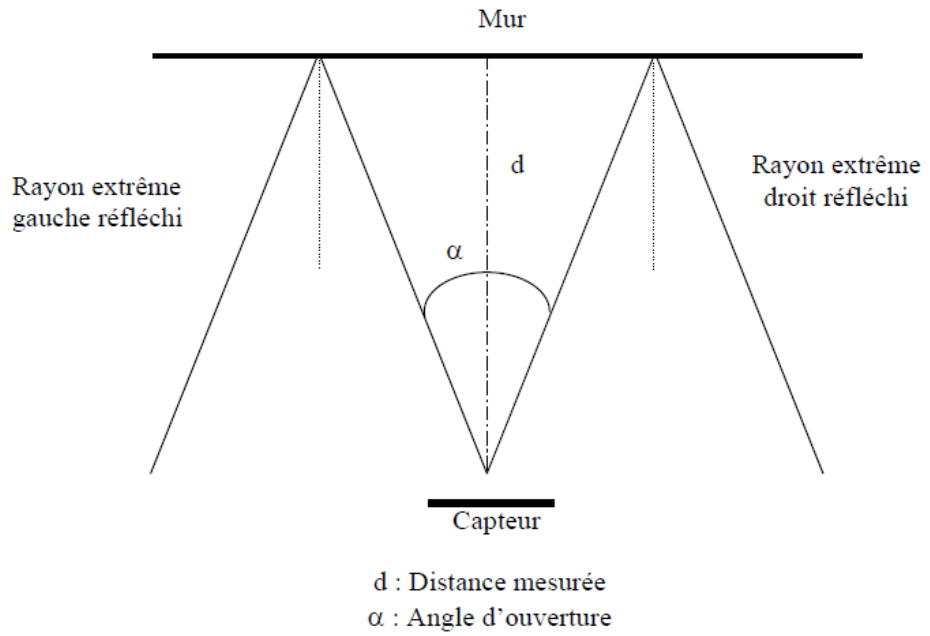


Figure II.6 : Obstacle perpendiculaire à l'axe du capteur, détecté.

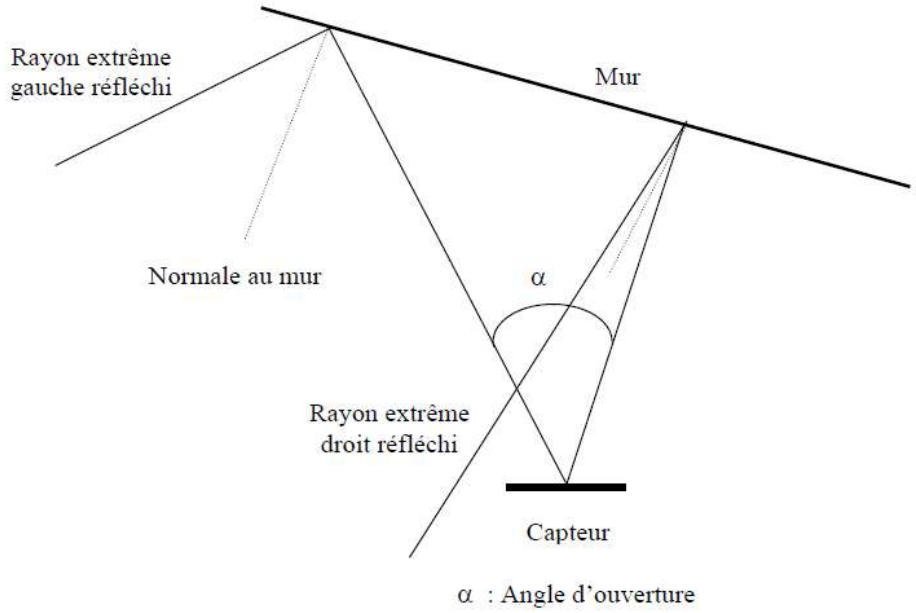


Figure II.7 : Obstacle en biais non détecté par le capteur.

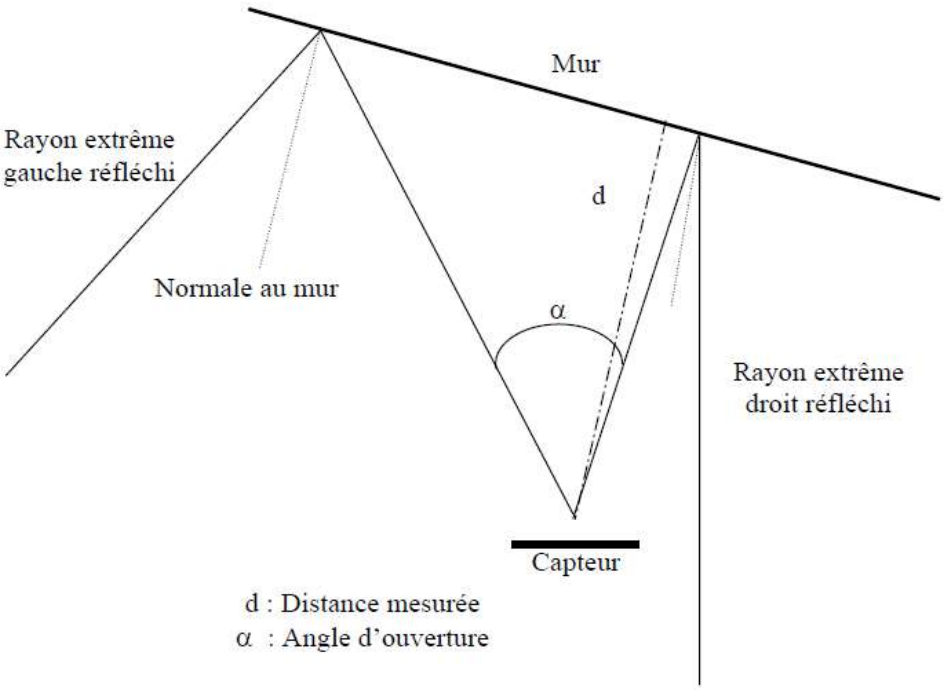


Figure II.8 : Obstacle en biais détecté par le capteur

Pour affiner ces mesures, on peut utiliser l'amplitude du signal reçu en plus de la mesure du temps de vol. La récupération de l'amplitude permet de distinguer plan ou coin d'un côté et arête de l'autre. Un capteur monté sur une tourelle permet d'acquérir plusieurs valeurs de

distances avec les amplitudes correspondantes. Cette dernière évolue en fonction de l'angle de mesure (figure II.9).

L'amplitude du balayage pendant laquelle la cible est vue et la valeur maximum du signal reçu en comparaison avec le temps de vol donnent des indications précieuses pour distinguer un plan ou un coin d'une arête. $\theta_n$correspond à l'angle de retour maximum d'énergie (perpendiculaire au plan ou « en face » du coin ou de l'arête).

II.4.3.2.1.3.2) La zone aveugle :

Le capteur utilisé joue à la fois le rôle d'émetteur et de récepteur. En émission, la membrane du capteur vibre pour créer l'onde ultrasonore. En réception, elle vibre au retour de l'onde renvoyée par un obstacle. Ainsi, la réception doit être bloquée pendant l'émission sinon, la membrane vibrant, une onde est détectée comprise comme un retour.

Dans le cas du Polaroïd , le constructeur bloque la réception pendant 2.38 ms ce qui correspond à une distance de 340* 0.00238 = 0.81m. La zone aveugle est donc 0.405 m (l'onde fait l'aller-retour). Dans les faits, elle est un peu plus importante et vaut environ 0.44 m.

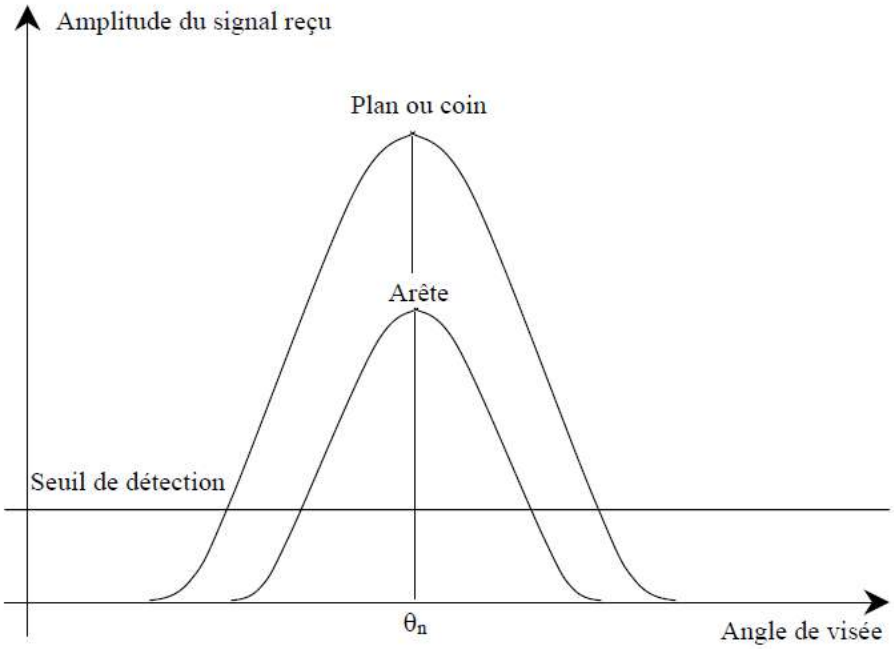


Figure II.9 : Différenciation plan/coin et arête.

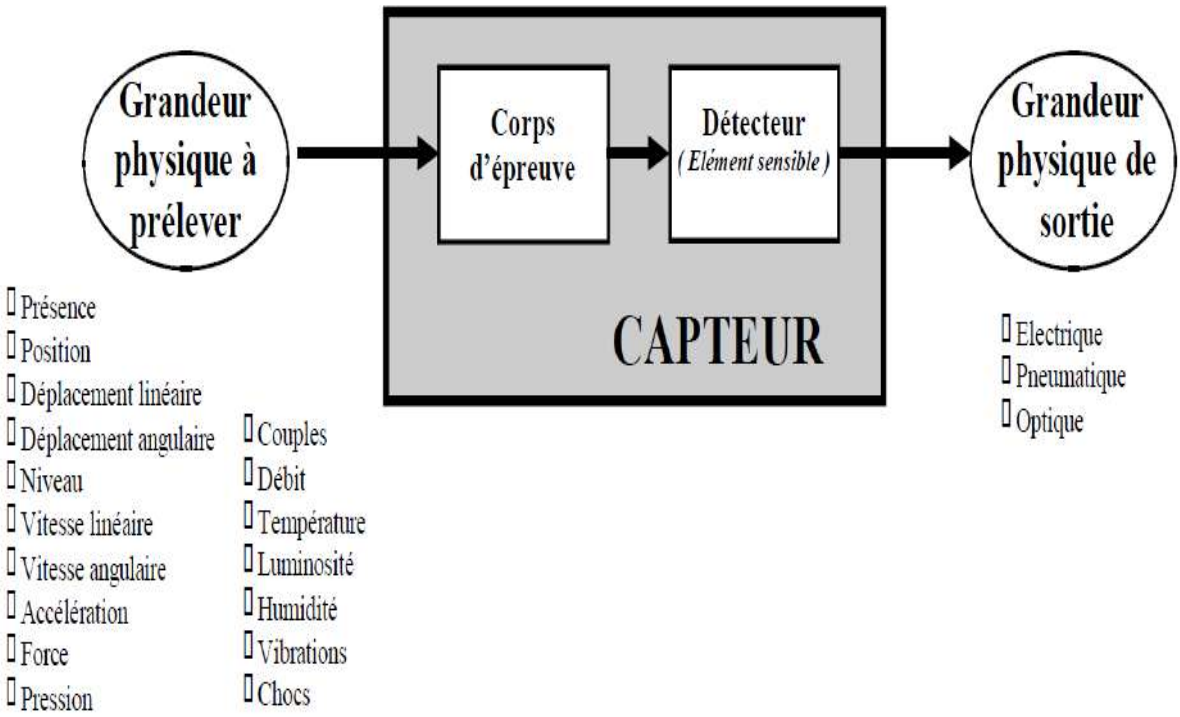


Figure II.10 : Types de capteur.



Figure II.11 : Les différents types de capteur

II.5) Modélisation du robot :

II.5.1) Modèle cinématique du robot unicycle :

II.5.1.1) Introduction

Le but de cette partie est de mettre le travail accompli dans son contexte général. Tout d'abord nous commencerons par présenter le robot unicycle type après On va utiliser certains modèles mathématiques qui sont nécessaires à la conception et la commande cinématique de notre robot, ensuite on va modéliser ces équations sous Matlab/Simulink dans la 4éme chapitre.

II.5.1.2) Définition :

Le robot Unicycle est un véhicule non holonome à conduite différentielles. Il possède 2 roues motrices indépendantes non orientables sur le même axe et une roue décentrée orientable libre « roue folle » qui assure la stabilité du véhicule. Qu'est un robot idéal pour l'usage intérieur en laboratoire ou en classe. Il est construit par Adepte Mobile Robots. Les robots unicycle sont les robots mobiles intelligents les plus populaires au monde pour l'éducation et la recherche. Leur polyvalence, leur fiabilité et leur durabilité en font la plate-forme privilégiée pour la robotique intelligente avancée.

Les robots unicycle sont préassemblés, personnalisables, extensibles et robustes pour durer des années d'utilisation.

II.5.1.3) Le Modèle d'actionnement :

La modélisation d'actionnement est l'étude du mouvement des systèmes mécaniques sans considérer les forces qui affectent le mouvement. Le but principal de la modélisation d'actionnement est de représenter les vitesses du robot en fonction des vitesses des roues motrices ainsi que des paramètres géométriques du robot. A partir de ces deux hypothèses on peut alors déduire le modèle d'actionnement de notre robot :

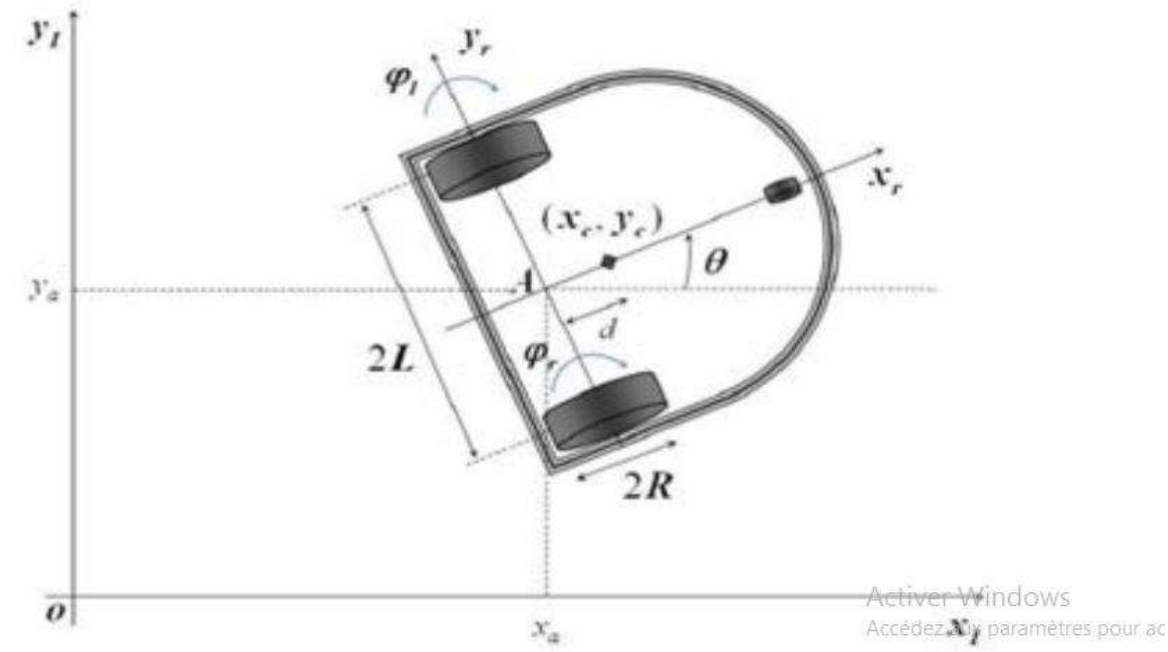


Figure II.12 : Paramétrage du Robot mobile à entraînement différentiel

Le mouvement d'un robot à conduite différentielle est caractérisé par deux contraintes non holonomes, qui sont obtenus par deux hypothèses principales :

Hypothèse I :

Aucun glissement latéral. Cela signifie simplement que le robot ne peut pas se déplacer latéralement dans le repère local, ce qui se traduit mathématiquement par l'équation :

$$\dot{y_r} = 0$$

Hypothèse II :

La contrainte de roulement pure représente le fait que chaque roue maintient un point de contact P avec le sol. Il n'y a pas de glissement de la roue dans son axe longitudinal (y_r) ni de dérapage dans son axe orthogonal(x_r). Les vitesses des points de contact dans le cadre du robot sont liées aux vitesses de roue :

$v_p R$ = R$\emptyset_R$ v_pL = R$\emptyset_L$

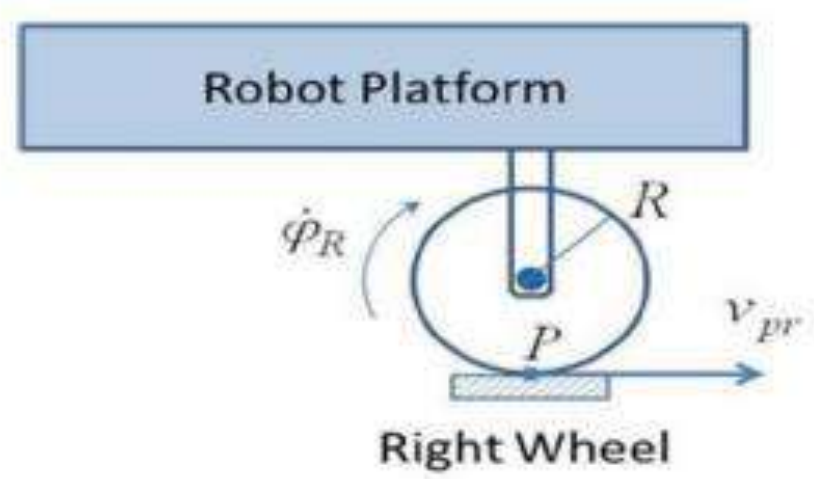


Figure II.13 : Roulement sans glissement

A partir de ces deux hypothèses on peut alors déduire le modèle d'actionnement de notre robot:

$$v = \dot{x}_r = \frac{V_R + V_L}{L} = R\frac{(\dot{\phi}_R + \dot{\phi}_L)}{L}$$

$$\omega = \dot{\theta} = \frac{V_R - V_L}{2L} = R\frac{(\dot{\phi}_R - \dot{\phi}_L)}{2L}$$

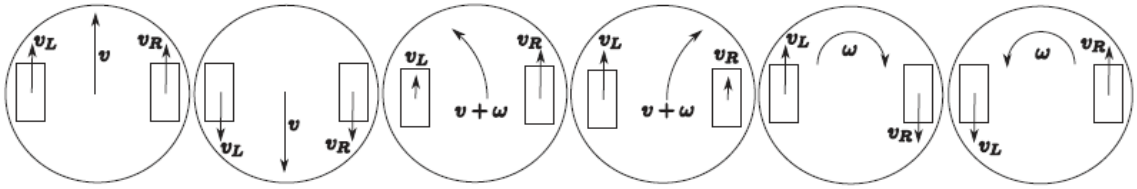


Figure II.14 : Schémas de différents déplacements possibles avec un robot mobile à roues de type unicycle

Nous allons maintenant détailler comment la position, l'orientation et les vitesses (translation et rotation) du robot sont reliées aux vitesses de rotation des roues. Définissons tout d'abord les variables permettant de modéliser le comportement du robot. La Figure

II.15illustre le modèle unicycle du robot ainsi que les différents paramètres utilisés. L'ensemble des paramètres sont aussi regroupés dans le Tableau II.1 On considère le cas d'un robot évoluant dans un plan (environnement 2D) muni d'un repère global $G = (0, \vec{g}_x, \vec{g}_y)$. Dans ce repère Cartésien, le robot est représenté par sa position, donnée par les coordonnées (x, y), et par son orientation dans le plan, θ. L'orientation est définie par rapport à l'axe $\vec{g}_x$du repère global, comme le montre la Figure II.15. L'ensemble des paramètres de position et d'orientation définit la pose du robot, notée :

$$P = (x, y, \theta)^T \tag{II.1}$$

En supposant que les roues roulent sans glissement, il est maintenant possible de relier la vitesse de rotation des roues droite et gauche définies respectivement par $\dot{\phi}_R$et $\dot{\phi}_L$aux vitesses linéaire et angulaire du robot. Pour cela, on introduit les vitesses linéaires des roues droite et gauche, dont les expressions sont données par :

$$\begin{cases} v_R = r\dot{\varphi}R \\ v_L = r\dot{\varphi}L \end{cases}$$

Symboles	Unités	Paramètres
$\dot{\varphi}_R, \dot{\varphi}_L$	rad/s	Vitesses angulaires des roues droite et gauche
$V_R V_L$	m/s	Vitesses linéaires des roues droite et gauche
(x, y)	m	Position du robot dans le plan
θ	rad	Orientation du robot dans le plan
$(\dot{x}\dot{y})$	m	Vitesses du robot dans le plan
v	m/s	Vitesse linéaire du robot

ω	rad/s	Vitesse angulaire du robot
r	m	Rayon des roues droite et gauche
b	m	Distance entre les deux points de contact au sol des roues droite et gauche
ρ	m	Rayon de courbure de la trajectoire circulaire du Robot

Tableau II.1 : Paramètres du modèle du robot unicycle

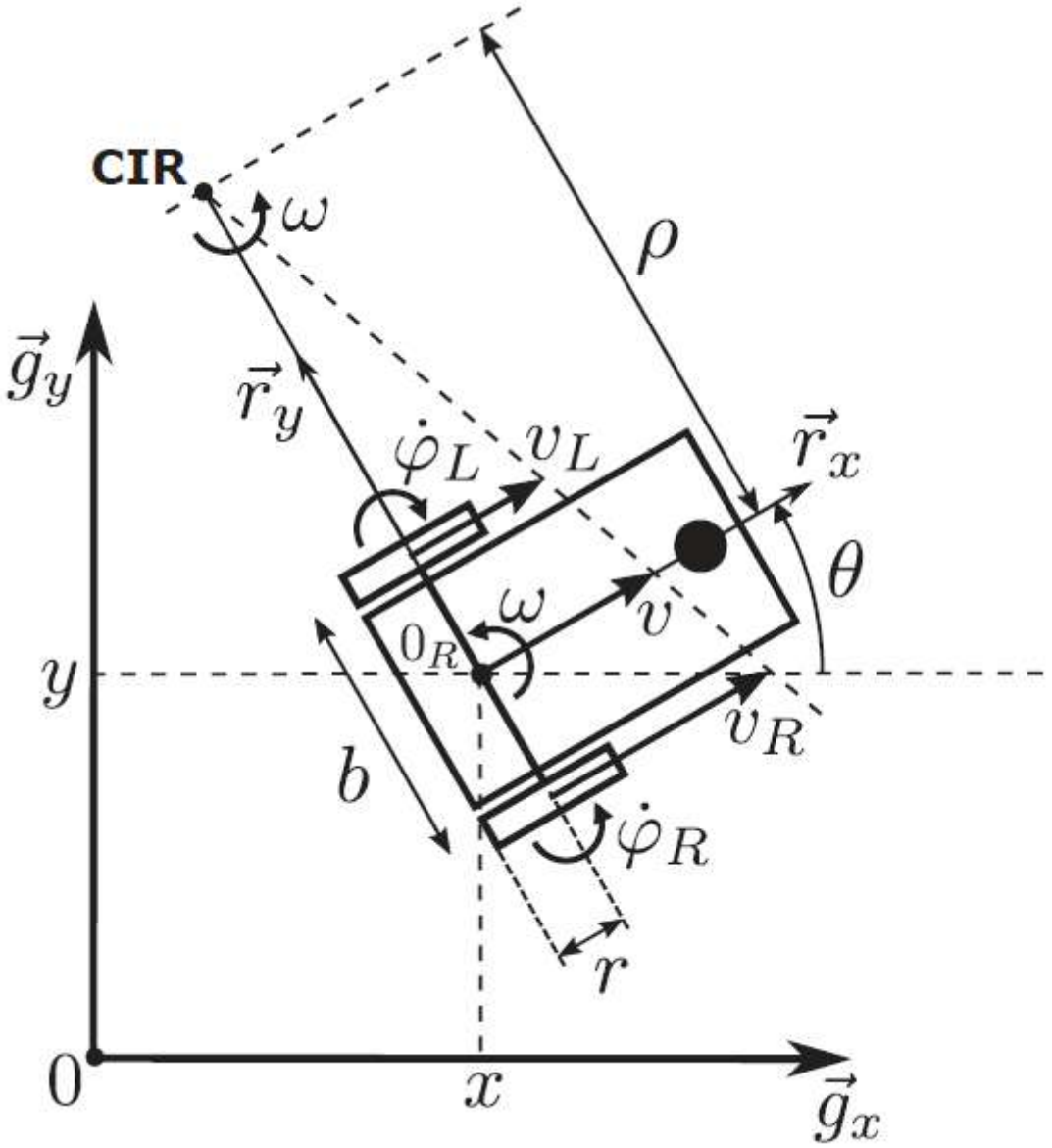


Figure II.15 : Modélisation du robot unicycle.[17]

Ou r est le rayon des roues (supposé le même pour les deux roues, mais la modélisation s'étend facilement a des rayons différents). Les vitesses de rotation$\dot{\varphi}_R$, $\dot{\varphi}_L$sont exprimées enrad/s, alors que les vitesses linéaires $v_R$et $v_L$sont exprimées en m/s.

Les deux roues motrices ayant le même axe de rotation, le centre instantané de rotation (CIR) du robot est un point de cet axe, voir Figure II.15 Si l'on définit ρcomme le rayon decourbure de la trajectoire du robot, c'est-à-dire la distance entre le CIR et le centre du robot O_R, ω comme la vitesse de rotation du robot autour du CIR, et b comme la distance entre les deux points de contact des roues avec le sol. Alors les vitesses des roues droite et gauche s'écrivent aussi :

$$\begin{cases} v_R = r\dot{\varphi}_R = \left(\rho + \frac{b}{2}\right)\omega & (1) \\ v_L = r\dot{\varphi}_L = \left(\rho - \frac{b}{2}\right)\omega & (2) \end{cases}$$

En faisant (1) + (2) et (1) − (2), on obtient :

$$\begin{cases} (1) + (2) \Leftrightarrow r(\dot{\varphi}_R + \dot{\varphi}_L) = 2\rho\omega \\ (1) - (2) \Leftrightarrow r(\dot{\varphi}_R - \dot{\varphi}_L) = b\omega \end{cases}$$

De plus, comme $v = \rho\omega$, la première équation du système précédent peut se réécrire :

$$r = (\dot{\varphi}_R + \dot{\varphi}_L) = 2v$$

On obtient alors les vitesses linéaire (m/s) et angulaire (rad/s) du robot grâce aux équations :

$$\begin{cases} v = r\frac{\dot{\varphi}_R + \dot{\varphi}_L}{2} = \frac{v_R + v_L}{2} \\ \omega = r\frac{\dot{\varphi}_R - \dot{\varphi}_L}{b} = \frac{v_R - v_L}{b} \end{cases} \quad \text{(II.2)}$$

Ces deux dernières équations représentent ce qu'on appelle le modèle cinématique inverse du robot.

En inversant ces relations, on obtient alors les équations du modèle cinématique direct. Les équations permettant de passer des vitesses linéaire et angulaire du robot aux vitesses linéaires des roues sont donc données par :

$$\begin{cases} v_R = v + \frac{b\omega}{2} \\ v_L = v - \frac{b\omega}{2} \end{cases} \quad \text{(II.3)}$$

Pour arriver à la vitesse de rotation des roues (rad/s), on divise simplement par r :

$$\begin{cases} \dot{\varphi}_R = \frac{v}{r} + \frac{b\omega}{2r} \\ \dot{\varphi}_L = \frac{v}{r} - \frac{b\omega}{2r} \end{cases} \quad \text{(II.4)}$$

Il reste maintenant à voir les équations cinématiques du robot, c'est-à-dire le lien entre les vitesses linéaire et angulaire du robot et la dérivée de la pose du robot. Ceci permet de comprendre comment les vitesses linéaire et angulaire induisent le changement de pose du robot. On définit pour cela un deuxième repère que l'on attache au robot : $R = (\theta_R, \vec{r}_x, \vec{r}_y)$

Plus précisément on considère que l'origine du repère se trouve au centre de l'axe des roues motrices du robot. Si l'on considère que la vitesse linéaire du robot dans son repère est donnée par $v = \|v\|\vec{r}_x$et que la vitesse angulaire du robot dans son repère est donnée par $\omega = \|\omega\|\vec{r}_z$ avec $\vec{r}_z$l'axe perpendiculaire au plan, alors les d´étrivées temporelles de la pose,

$\dot{P} = (\dot{x}, \dot{y}, \dot{\theta})^T$, sont données par :

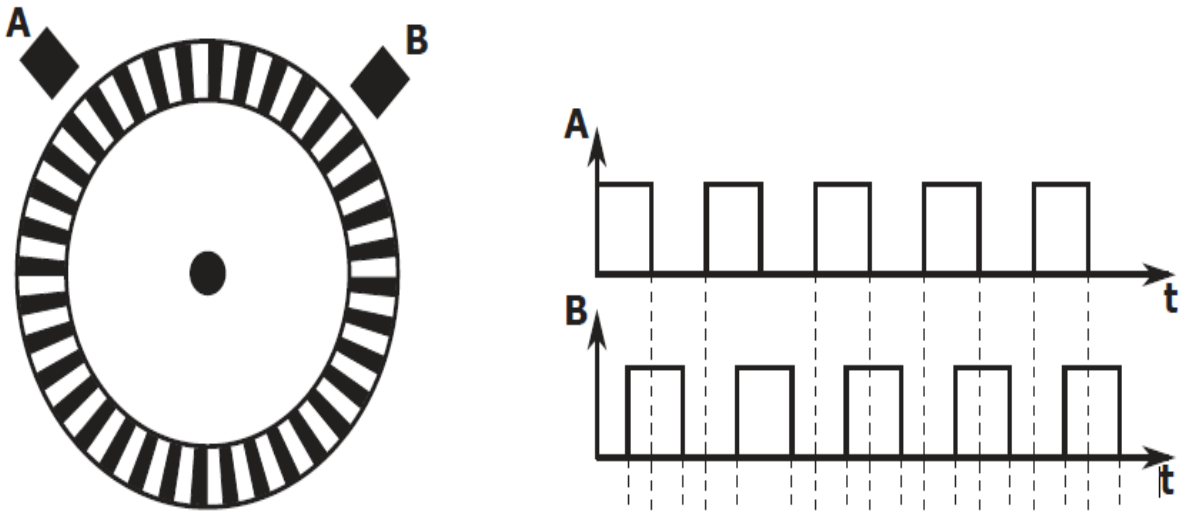
$$\begin{cases} \dot{x} = v\cos\theta \\ \dot{y} = v\sin\theta \\ \dot{\theta} = \omega \end{cases} \quad \text{(II.5)}$$

Ces équations cinématiques du robot, en plus d'être essentielles pour modéliser le comportement du robot, seront utilisées par les différents algorithmes de localisation développés par la suite. Elles permettront notamment de prédire l'évolution de la pose du robot à partir des vitesses de rotation des roues.

Les moteurs de roue du robot étant équipés de codeurs incrémentaux afin de réaliser l'asservissement en vitesse, il est aussi possible d'utiliser ces mesures pour estimer le déplacement du robot. Nous allons ainsi maintenant voir comment à partir de la mesure des vitesses de rotation des roues du robot et des équations données dans (II.5), il est possible d'estimer la pose du robot mobile.

II.5.2) Odométrie des roues :

Dans la majorité des cas en robotique mobile, les moteurs de roue sont équipés de codeurs incrémentaux. Ces capteurs ont pour rôle de mesurer la vitesse de rotation de l'axe du moteur, et éventuellement la position du rotor, [9], [10]. Les codeurs incrémentaux sont des capteurs proprioceptifs, c'est-à-dire qu'ils donnent une information sur l'état interne du robot. Parmi les codeurs incrémentaux, on distingue les capteurs qui donnent une mesure relative du déplacement, des capteurs qui donnent une mesure absolue. Dans notre cas, pour estimer la vitesse, une mesure relative est suffisante. Différentes technologies de codeurs incrémentaux existent, comme les capteurs magnétiques ou les capteurs optiques, mais le principe de fonctionnement de base reste le même. Ce dernier étant de compter un nombre d'impulsions qui est proportionnel à la vitesse de rotation du moteur.



(a) Disque et capteurs optiques A et B(b) Diagramme des signaux A et B

Figure II.16 : Exemple d'un disque et des capteurs optiques A et B pour un encodeur rotatif (a) avec les signaux correspondants (b)

Par exemple, dans le cas d'un encodeur optique, un disque composé d'une alternance de franges blanches et noires est monté sur l'axe du moteur. Deux capteurs optiques, appelés canaux A et B sont placés face à ce disque, voir Figure II.16. Les signaux des deux canaux sont déphasés de 90 degrés et correspondent aux transitions entre les franges blanches et noires détectées par les deux capteurs A et B. La Figure II.16a.montre les signaux typiquement obtenus en sortie des deux canaux. En comptant le nombre de transitions et en analysant les transitions des deux canaux, il est possible de compter le déplacement angulaire avec une précision de $\frac{\pi}{4N}$ou N est le nombre de points par tour, et d'en déduire la vitesse ainsi

que le sens de rotation. Le nombre de points par tour, *N*, correspond à la résolution du capteur. Plus cette dernière sera élevée, meilleure sera l'estimation de la position et de la vitesse.

Pour déterminer la vitesse de rotation de la roue attachée au moteur à partir d'un codeur incrémental, il existe différentes techniques. La solution la plus simple consiste à compter le nombre d'impulsions pendant une période d'échantillonnage donnée. En multipliant le nombre d'impulsions par un facteur *f*(rad), on obtient alors l'incrément de position de la roue.

Ce facteur *f* est donné par, [9] :

$$f = \frac{\pi}{gN}$$

Et dépend de :

— *g*, le rapport de réduction du réducteur entre la roue et le moteur,

— *N*, le nombre d'impulsions par tour du moteur.

Pour obtenir la vitesse de rotation, il suffit alors de diviser l'incrément de position de la roue par la période d'échantillonnage. Si l'on note *n* le nombre d'impulsions comptées durant la période d'échantillonnage ΔT(en seconde), alors la vitesse de rotation de la roue (en rad/s) est donnée par :

$$\dot{\varphi} = \frac{nf}{\Delta T}$$

Les mesures étant réalisées de manière discrète, on utilisera plus souvent l'incrément de distance parcourue par les roues droite et gauche pendant l'intervalle ΔT. Ainsi, si l'on suppose lesvitesses des roues constantes sur l'intervalle ΔT, on obtient :

$$\begin{cases} \delta U_R = r_R f n_R \\ \delta U_L = r_L f n_L \end{cases}$$

avec$\delta U_{R/L}$l'incrément de distance, $r_{R/L}$le rayon et $n_{R/L}$le nombre d'impulsions des rouesdroite (R) et gauche (L) respectivement.

En connaissant les incréments de distance sur les deux roues, il est possible de retrouver les incréments de distance et d'angle du robot. En utilisant les équations (II.2) dans leurs formes discrètes, on obtient :

$$\begin{cases} \delta U = \frac{(\delta U_R + \delta U_L)}{2} \\ \delta \Theta = \frac{(\Delta U_R + \delta U_L)}{b} \end{cases} \quad \text{(II.6)}$$

avec δU l'incrément de distance linéaire, et$\delta\Theta$l'incrément d'angle du robot.

Le principe de l'odométrie pour un robot de type unicycle consiste donc à intégrer les mesure des déplacements incrémentaux des roues pour estimer la pose du robot. En appliquant ce principe à chaque nouvelle mesure, il est possible de reconstruire les poses successives du robot.

Pour dériver les équations d'odométrie du robot et donc pouvoir estimer la pose actuelle du robot à partir de la pose précédente et des mesures des codeurs incrémentaux, il faut reprendre les équations (II.5). Un développement de Taylor à l'ordre 1 permet d'obtenir :

$$\begin{cases} x_{k+1} = x_k + \delta U \cos(\theta_k) \\ y_{k+1} = y_k + \delta U \sin(\theta_k) \\ \theta_{k+1} = \theta_k + \delta\Theta \end{cases}$$

Avec $P_{k+1} = (x_{k+1}, y_{k+1}, \theta_{k+1})^T et P_k = (x_k, y_k, \theta_k)^T$ les poses du robot aux instants$t_{k+1} = (k+1)\Delta T$et $t_k = k\Delta T$.

Pour une meilleure précision, il est possible de réaliser un développement de Taylor à l'ordre2, [18], [10] :

$$\begin{cases} x_{k+1} = x_k + \delta U \cos\left(\theta_k + \frac{\delta\theta}{2}\right) \\ y_{k+1} = y_k + \delta U \sin\left(\theta_k + \frac{\delta\theta}{2}\right) \\ \theta_{k+1} = \theta_k + \delta\Theta \end{cases} \quad \text{(II.7)}$$

Ces dernières équations peuvent aussi se retrouver géométriquement, comme le montre la Figure II.17, en supposant que pendant la période d'intégration, on peut assimiler le déplacement du robot à une trajectoire circulaire.

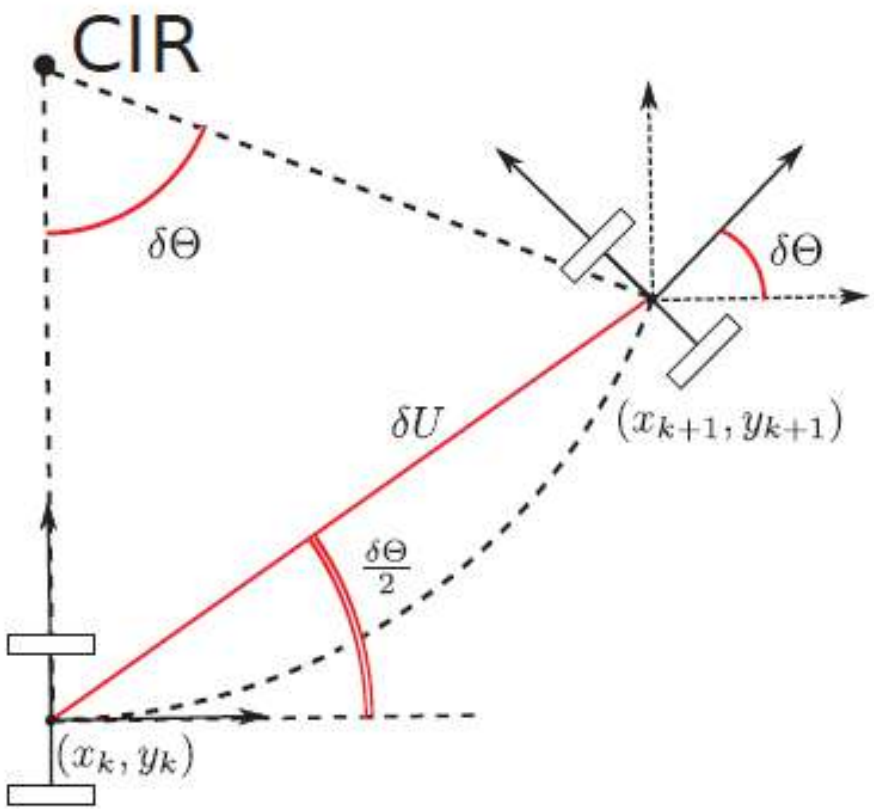


Figure II.17 : Modélisation de l'odométrie du robot permettant d'estimer la position du robot à partir des mesures des codeurs incrémentaux des roues (CIR = centre instantané de rotation)

Ainsi, à partir des équations (II.7), on dispose déjà d'un premier algorithme basique permettant de localiser le robot, si l'on suppose que la pose de départ est connue. Il faut toutefois noter que cette méthode ne donne une information de positionnement fiable que sur une très courte période. En effet, les mesures des codeurs incrémentaux sont entachées d'erreurs, qui sont directement intégrées par les équations (II.7). En intégrant au fur et à mesure ces erreurs, même infimes, la pose estimée du robot va très rapidement s'éloigner de la pose réelle. L'augmentation de la résolution des codeurs incrémentaux peut améliorer l'estimation, mais ne pourra pas éviter les écarts liés à des perturbations extérieures comme le glissement des roues sur le sol. En effet, un sol plat et sans aspérités favorisant le roulement du robot permet d'obtenir de très bons résultats. Au contraire, un terrain bosselé ou boueux, va entraîner des glissements et des pertes de contact avec le sol. Les roues du robot tournant alors dans le vide, les mesures des codeurs incrémentaux vont engendrer une surestimation de la vitesse des roues et donc du déplacement du robot.

Enfin, la précision de l'odométrie dépend aussi de la précision des paramètres géométriques *r* et *b* du modèle cinématique. Pendant tout le développement précédent, on a supposé que ces paramètres étaient parfaitement connus. Bien souvent ces paramètres sont disponibles avec une assez bonne précision si l'on dispose du modèle 3D du robot dessiné pendant sa conception. Cependant, dans certains cas, il est possible que ces paramètres ne soient pas connus ou difficilement mesurables. Ainsi, il se peut qu'après l'étape de production, les deux roues ne se retrouvent pas exactement avec le même rayon. En outre, l'usure inévitable peut être différente d'une roue à l'autre. En fonction du niveau de précision voulu, il peut donc être intéressant, voir nécessaire de prendre en compte ces imperfections. Dans ce cas-là, en plus d'estimer la pose du robot, il faut aussi estimer les valeurs des paramètres que l'on souhaite retrouver avec précision. Ainsi, dans les différents algorithmes proposés par la suite, ces paramètres ne devront plus être considérés comme fixes, mais bien comme des variables à estimer.

Les modèles géométriques et cinématique ayant été présentés, nous allons maintenant détailler les autres capteurs embarqués sur le robot, qui lui permettront de se localiser pleinement en corrigeant l'odométrie. Les modèles géométriques et cinématiques ayant été présentés, nous allons maintenant détailler les autres capteurs embarqués sur le robot, qui lui permettront de se localiser pleinement en corrigeant l'odométrie.

II.5.3) Modélisation des capteurs :

L'odométrie permettant d'estimer la pose du robot à partir des seules mesures de la vitesse des roues, que nous avons vues précédemment, est entachée d'une erreur croissante au cours du temps. Afin de remédier à ce problème, deux approches complémentaires permettent d'améliorer la précision de localisation du robot. La première consiste à ajouter des capteurs proprioceptifs comme une centrale inertielle, de façon à améliorer les performances de l'odométrie en fusionnant de multiples sources d'information complémentaires. La seconde approche consiste à prendre en compte des informations extérieures au robot, comme la mesure de position absolue via un récepteur GPS, ou des mesures de distance par rapport aux objets environnant le robot.

Communément en robotique mobile, les capteurs extéroceptifs sont présents sous la forme de caméras ou de Lidar (Light Detection And Ranging). Pour des raisons de coût, l'utilisation d'un télémètre laser n'a pu être possible. De plus, le système développé devant pouvoir opérer

de nuit, l'utilisation de caméras devenait fortement compromise. Pour ces raisons, dans ce mémoire nous considérons que les seules mesures extéroceptives disponibles proviennent d'un capteur permettant de mesurer des distances par rapport à un certain nombre de balises présentes dans l'environnement du robot. Dans ces travaux, un GPS est monté sur le robot, mais celui-ci n'est utilisé que comme un capteur secondaire pouvant servir éventuellement si les conditions le permettent. De plus, ce dernier était envisagé pour fournir une vérité terrain et comparer les différents algorithmes développés dans la suite. Cependant, la précision obtenue durant les expériences n'a pas été suffisante pour que le GPS puisse jouer son rôle de vérité terrain.

Dans le cas d'un robot évoluant sur une surface 3D non plane, c'est la fusion des données des différents capteurs précédents (codeurs incrémentaux, centrale inertielle, balises), qui permettra une bonne estimation de la pose et de la vitesse du robot.

Un capteur étant un dispositif mesurant une quantité physique, une étape essentielle dans la réalisation des différents algorithmes consiste à modéliser le principe de fonctionnement de la mesure. La précision du modèle du capteur peut influencer la précision des algorithmes, et la plupart du temps il y a un compromis à faire entre la précision et la complexité du modèle utilisé.

II.6) Conclusion :

Les robots mobiles à roue font petite partie de la robotique et dans ce chapitre nous avons abordé les sections des robots à roue, puis ils portent la signification des capteurs qui peuvent être utilisés dans ce domaine.

A la fin, nous avons parlé du modèle cinématique avec le modèle d'actionnement et on a finir avec une modélisation des capteurs.

Chapitre III :

Stratégie de navigation

III.1) Introduction :

Dans le chapitre précédant on a eu une vue sur les robots mobiles à roues, dans ce chapitre nous aborderons de leurs navigations et leurs stratégies et expliqué la navigation d'évitement d'obstacle et à la fin nous avons parlé des méthodes de localisation.

III.2) Navigation des robots mobiles :

La navigation d'un robot mobile est un des problèmes clés dans la communauté de la robotique. Le problème consiste à donner aux systèmes mobiles la capacité d'aller d'une position initiale à une position finale de manière autonome, en utilisant l'information perçue par ses capteurs.

Historiquement, la navigation de ces systèmes mobiles a tout d'abord été considérée comme un problème de planification de trajectoires. Le modèle de la scène est supposé connu et des stratégies globales ou locales permettent de définir la séquence de configurations que doit prendre le système mobile pour atteindre son objectif.

Depuis le début des années 80, les avancées technologiques et algorithmiques permettent de contrôler directement les mouvements d'un système robotique mobile à partir des informations perçues par ses capteurs. Ces informations sont utilisées pour définir une loi de commande du système mobile sans pour autant nécessiter le modèle de la scène.

Plus récemment, les recherches en robotique mobile ont considéré des environnements de navigation très vastes, à tel point que les capteurs embarqués (caméra ou même laser) ne peuvent les décrire que localement à un instant donné. Une représentation interne de l'environnement de navigation devient alors nécessaire. Elle permet dans ce cas d'étendre le champ d'action des capteurs du système robotique, mais aussi de définir un ensemble de stratégies de navigation adaptées à l'environnement traversé.[11],[12]

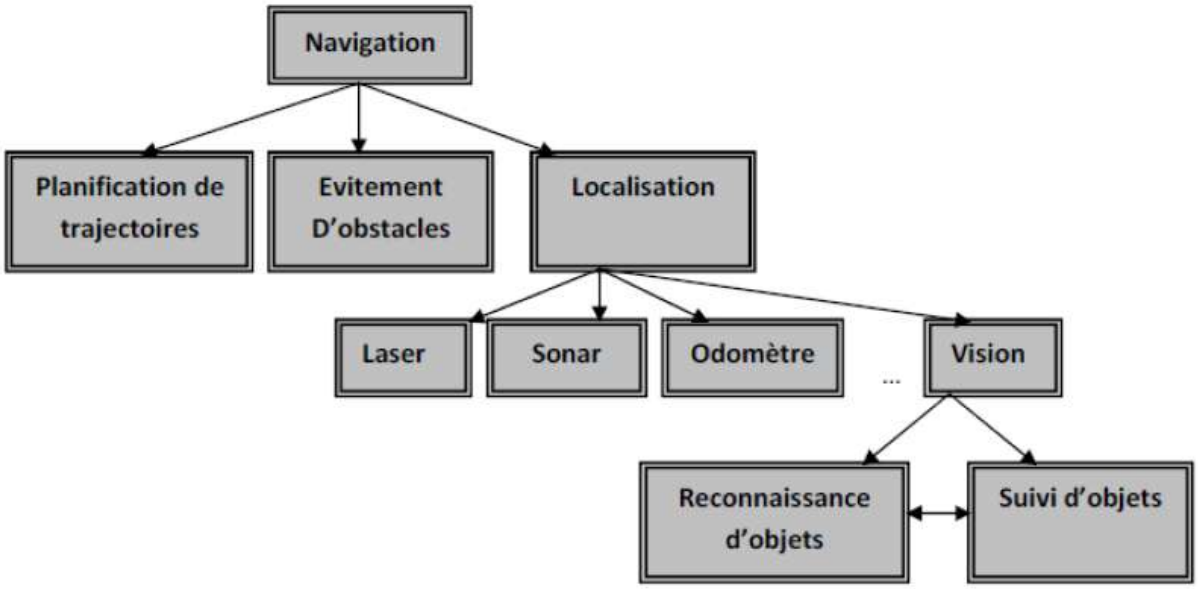


Figure III.1 : Schéma simplifié des taches de la navigation [11]

III.3) Les stratégies de navigation :

Les stratégies de navigation permettent à un robot mobile de se déplacer pour rejoindre un but, réaliser une mission ou une tache. Nous pouvons distinguer plusieurs types de stratégies, cette classification permet de distinguer les stratégies sans modèles internes et les stratégies avec modèle interne.

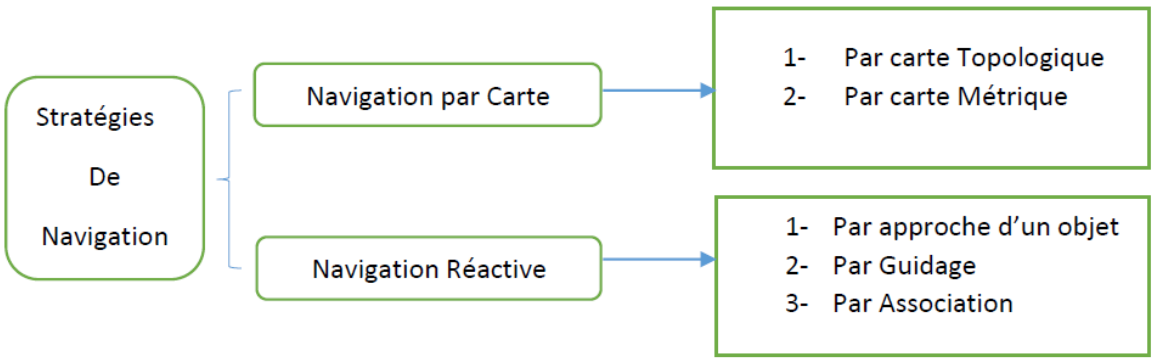


Figure III.2 : Les stratégies de navigation

III.3.1) Approche d'un objet :

Cette capacité de base permet de se diriger vers un objet visible depuis la position courante du robot. Cette stratégie est locale ou elle est appliquée uniquement quand le but est visible. Elle utilise des actions réflexes dans lesquelles chaque perception est directement associée à une action.

III.3.2) Guidage :

Cette stratégie permet d'atteindre un but qui n'est pas directement visible, mais qui est caractérisé par un ensemble d'objets remarquables, ou amers, qui l'entourent. Elle utilise également des actions réflexes et réalise une navigation locale qui requiert que les amers caractérisant le but soient visibles. Cette stratégie est inspirée de certains insectes, comme les abeilles, et a été utilisée sur divers robots.

III.3.3) Actions associés à un lieu :

Cette stratégie c'est la première stratégie réalisant une navigation globale, atteindre un but qui n'est pas visible et même les amers qui caractérisent son emplacement sont invisibles. Elle requiert une représentation interne de l'environnement qui consiste à définir des lieux comme des zones de l'espace dans lesquelles les perceptions restent similaires, et à associer une action à effectuer à chacun de ces lieux. Ces actions associées définissent une route vers le but. Ces modèles sont limités à un but fixé: Une route qui permet de rejoindre un but ne pourra en effet pas être utilisée pour rejoindre un but différent.

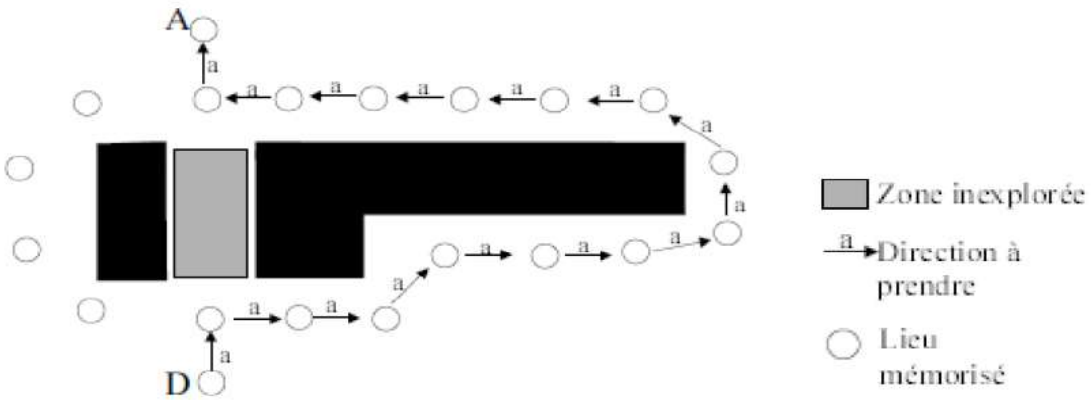


Figure III.3 : stratégie de navigation : action associé à un lieu

III.3.4) Navigation topologique :

Cette capacité est une extension de la précédente qui mémorise dans le modèle interne les relations spatiales entre les différents lieux. Ces relations indiquent la possibilité de se déplacer d'un lieu à un autre, mais ne sont plus associées à un but particulier.

Le modèle interne est un graphe qui permet de calculer différents chemins entre deux lieux arbitraires. Ce modèle ne permet toutefois que la planification de déplacements parmi les lieux connus et suivant les chemins connus.

III.3.5)Navigation métrique :

Cette stratégie est une extension de la précédente car elle permet au robot de planifier des chemins au sein de zones inexplorées.

Elle mémorise pour cela les positions métriques relatives des différents lieux, en plus de la possibilité de passer de l'un à l'autre. Ces positions relatives permettent, par simple composition de vecteurs, de calculer une trajectoire allant d'un lieu à un autre, même si la possibilité de ce déplacement n'a pas été mémorisée sous forme d'un lien.

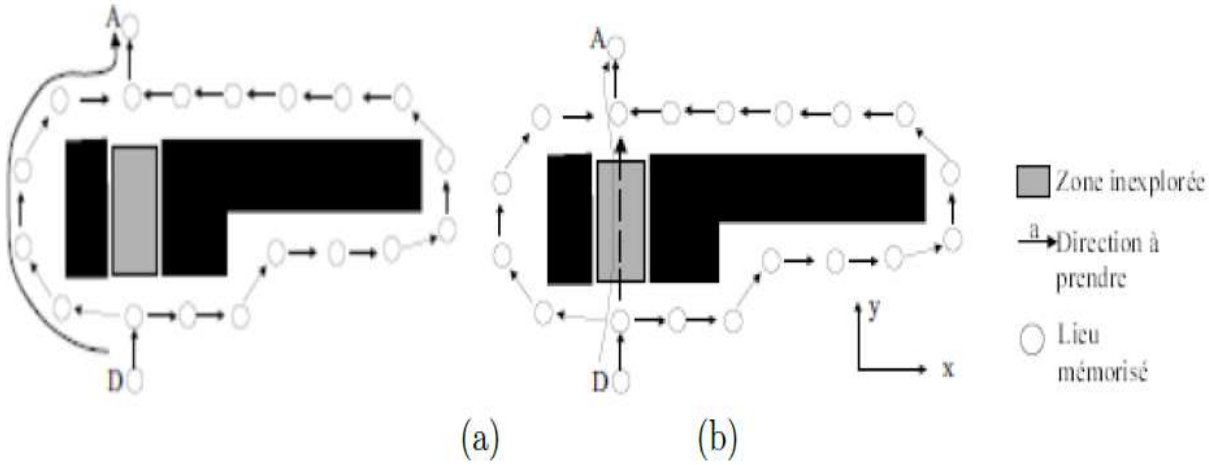


Figure III.4 : Navigation topologique(a), Navigation métrique(b)

III.4) Navigation réactive :

Par définition, les stratégies de navigation réactives n'utilisent que les valeurs courantes des capteurs (ou des valeurs sur une petite fenêtre temporelle) et non des données provenant d'un modèle interne, pour décider de l'action à effectuer.

III.4.1) méthode de bug :

En se basant uniquement sur les informations sensorielles, les algorithmes Bug ont été développés pour résoudre le problème des labyrinthes sans aucune connaissance a priori sur la distribution ou la géométrie des obstacles. Dans ces algorithmes, le système mobile se déplace vers l'objectif jusqu'à ce qu'il trouve un obstacle. Il contourne ce dernier jusqu'à ce qu'il soit en mesure de se déplacer à nouveau directement vers l'objectif (Figure III.5). En plus, si ces algorithmes maintiennent l'historique des lieux visités, le temps d’exécution diminuera considérablement.

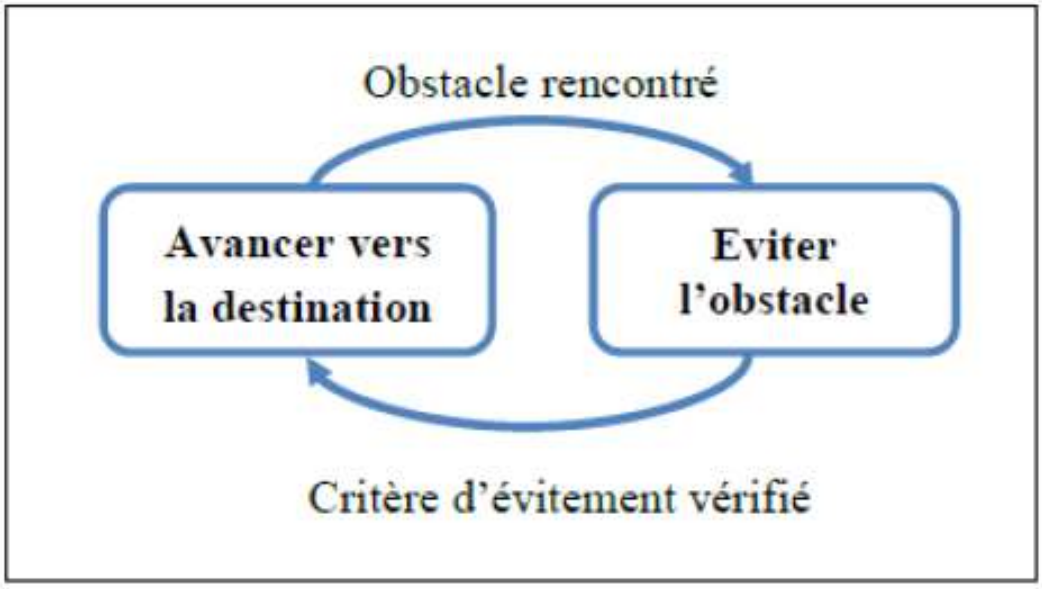


Figure III.5 : Le principe des méthodes bug

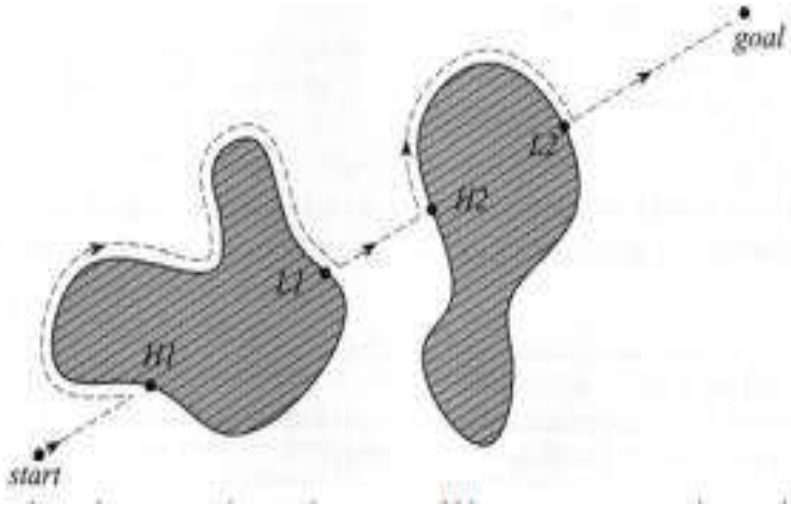


Figure III.6 : Un exemple de navigation utilisant un algorithme Bug .[13]

Ces algorithmes ne prennent pas en compte la cinématique du système mobile et la dynamique des contraintes, de plus ils s'appuient uniquement sur la dernière lecture sensorielle, cela a un impact négatif sur les applications de ce type d'algorithme dans le monde réel [14]. En général, ces algorithmes trouvent leur intérêt dans le contrôle des

systèmes mobiles simples, cependant, ils ne sont pas assez puissants pour assurer une optimisation de la trajectoire.

a -Avantages

• Les méthodes Bugs sont intéressantes parce qu'on peut les appliquer dans un environnement inconnus (elles sont indépendantes de la géométrie de l'environnement).

• La plupart d'entre elles sont convergentes qui veut dire elles trouvent un résultat.

• N'utilisent pas de fonctions mathématiques complexes (racine, sinus,..), et ne demandent pas d'espace mémoire énorme, d'ailleurs certaines algorithmes de cette famille n'utilisent même pas une mémoire.

• Simple à implémenter sur des robots réels.

• Les résultats donnés par les tests réels prouvent l'efficacité de ces algorithmes.

b - Inconvénients

• Dans la plus part des algorithmes la longueur du chemin peut-être soit meilleure ou très mauvaise mais pas moyenne.

• Le résultat de l'algorithme dépend de l'environnement, et la convergence de certains algorithmes ne peut pas être prouvée théoriquement.

• Certains algorithmes restent théoriques car ils supposent l'utilisation d'un matériel idéal ou des capteurs à distance illimités.

III.5) Navigation avec évitement d'obstacle:

Si un ou plusieurs obstacles sont observés dans un certain voisinage du robot, le robot doit avoir une capacité d'évitement d'obstacles.

Pour réaliser cette mission, nous avons conçu un système de contrôle réactif en utilisant la logique floue on se basant sur ce système flou [15]. Le système d'évitement d'obstacles met en œuvre une stratégie de contrôle intelligente réactive en se basant sur les données sensorielles.

Exemple: si le robot est proche d'un obstacle devant lui, le contrôleur flou permettra de déterminer la meilleure direction à procéder en temps réel afin d'éviter la collision avec l'obstacle.

Le robot saura alors immédiatement réagir en fonction de la directive émise par le contrôleur flou.

Ce contrôleur permet au robot mobile d'éviter les obstacles de son environnement. L'existence d'un but nous permet de prendre en considération deux comportements fondamentaux : l'évitement d'obstacle et le déplacement vers la cible.

III.5.1)La stratégie d'évitement d'obstacles :

Le contrôleur d'évitement d'obstacle reçoit comme entrée l'angle entre (le robot et l'obstacle) et la distance (robot-obstacle), ce contrôleur génère en sortie les deux commandes l'angle de braquage et la vitesse, dans notre cas la vitesse est constante. Ces deux commandes permettent le changement de direction du robot pour éviter les obstacles les plus proches.

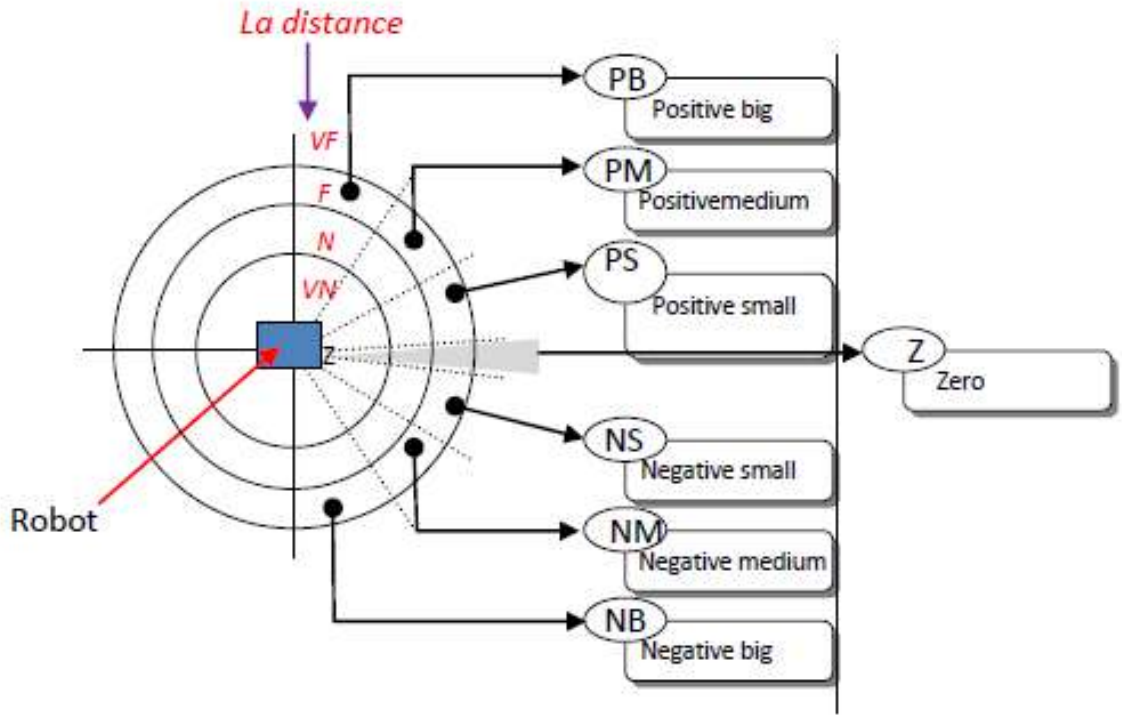


Figure III.7 :L'emplacement des ensembles flous pour l'évitement d'obstacle.

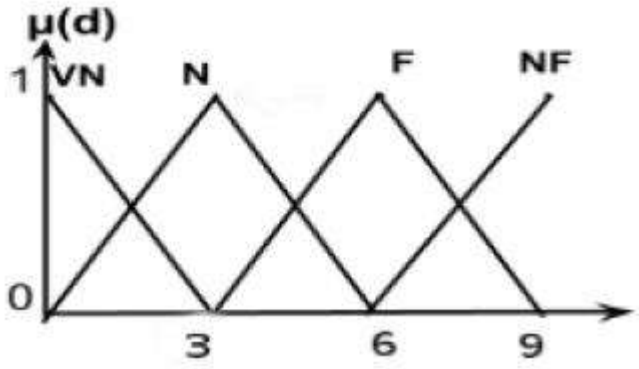
1. Les ensembles flous: Pour les deux variables d'entrées nous avons utilisé les fonctions d'appartenance présentée dans la figure III.8

2. Les règles d'inférence : Le tableau III.1 représente les règles d'inférence utilisée pour la navigation avec évitement d'obstacle.

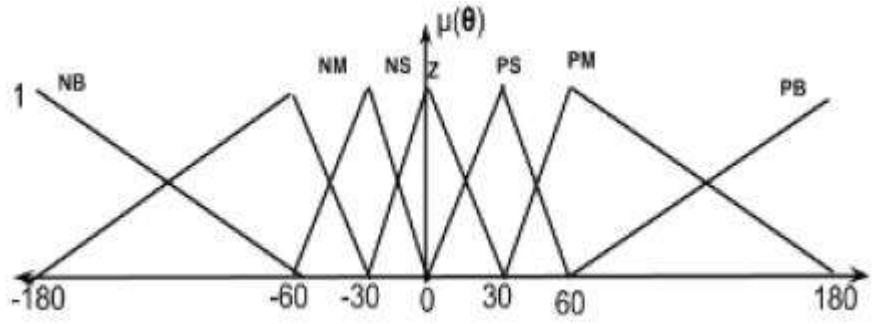
Dist: La distance (robot – obstacle)	Ang : L'angle (robot –obstacle)						
	NB	NM	NG	Z	PS	PM	PB
VN	PM	PM	PS	PM	NM	NM	NB
N	PM	PS	PS	NS	NS	NM	NB
F	PM	PS	PS	PS	NS	NS	NB
VF	PM	PS	PS	PS	NS	NS	NB

Tableau III.1 :Règles d'inférence du contrôleur d'évitement d'obstacles

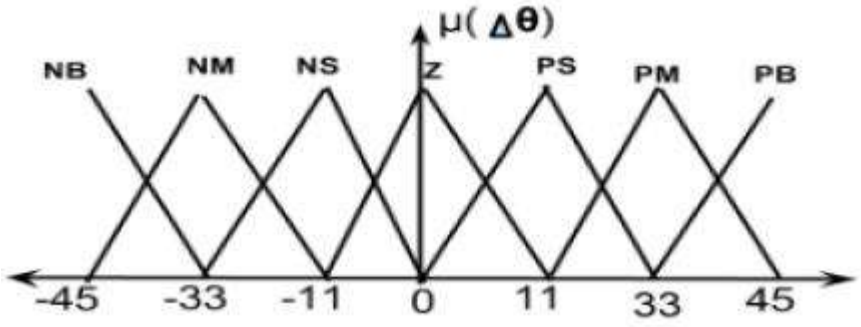
3. La Défuzzyfication : La méthode de Défuzzyfication permet de transformer les valeurs de commande du domaine flou vers le domaine réel (variables physiques). Les deux contrôleurs utilisent la méthode de "centre de gravité discret".



(a)



(b)



(c)

Figure III.8 : Les fonctions d'appartenances d'évitement d'obstacle:

(a) distance(robot obstacle), (b) l'angle(robot-obstacle), (c) l'angle de braquage

III.6) Localisation des robots mobiles :

On trouve dans la littérature une définition très générale de la localisation : "fonction consistant à déterminer, dans un repère de travail donné, certains paramètres de position et/ou d'attitude du robot qui sont nécessaires à l'accomplissement de sa mission". Il est à noter l'importance du repère et du lien entre les paramètres à estimer et la mission. Il est en effet clair que des repères sont indispensables pour se localiser et donc une grande vigilance s'impose quant à leur choix et aux passages des uns aux autres. La mission oriente le choix des paramètres les plus pertinents pour son exécution.

III.6.1) Les techniques de localisation :

La localisation relative est d'abord étudiée. Puis différentes techniques de localisation absolue sont présentées. Ces dernières sont plus nombreuses en robotique

mobile que les premières ; elles ont donc fait l'objet de développements plus importants. La généralité de ces approches est ensuite limitée au cadre de ce travail.

III.6.1.1) Localisation relative :

Aussi appelée localisation à l'estime, elle permet de déterminer la position courante d'un robot mobile en fonction des positions antérieures et de la mesure de ses déplacements. Les informations utilisées sont fournies par des capteurs proprioceptifs. L'odomètre mesure le déplacement relatif par rapport au sol. Les systèmes inertiels mesurent des accélérations par rapport à un repère galiléen.

III.6.1.1.1) l'odométrie :

La technique de l'odométrie est la plus utilisée pour la localisation des robots mobiles à roues. Elle permet de déterminer la position et le cap (x, y, θ) d'un véhicule par intégration de ses déplacements élémentaires, et ce, par rapport à un repère lié à sa configuration initiale. L'algorithme de localisation est basé sur le comptage des impulsions générées par des codeurs durant une période de déplacement. Les avantages de l'odométrie résident dans sa simplicité de mise en œuvre et dans son cout faible : ces caractéristiques en font un système de localisation couramment utilisé en robotique mobile. L'inconvénient est une précision très médiocre sur des distances importantes, à cause des erreurs cumulatives.[16]

III.6.1.1.2) La vélocimétrie :

Consiste à estimer la vitesse du robot et l'intégrer pour obtenir le déplacement. Les gyromètres fournissent la vitesse de rotation, et le radar Doppler fournit la vitesse linéaire.

III.6.1.1.3)Les capteurs inertiels :

La localisation d'un système mobile en utilisant ce type de capteur (accéléromètres, gyroscopes, compas magnétiques) est déterminé à partir d'informations inertielles acquises au cours de son mouvement. Cette localisation plus couteuse constitue le haut de gamme des systèmes de localisation à l'estime. Le calcul de la position est effectué par double intégration de ces informations et entraîne

une inévitable accumulation d'erreurs qui constitue une dérive d'estimation dans le temps. Un recalage périodique est alors indispensable.

III.6.1.2) Localisation absolue :

La localisation absolue est une technique qui permet à un robot de se repérer directe ment dans son environnement on utilisant les capteurs extéroceptifs. Elle nécessite une représentation de l'environnement contenant l'ensemble des références externes ou carte d'environnement. Deux stratégies sont utilisées afin de résoudre le problème de localisation : stratégie utilisant des points de repère artificiels et stratégie utilisant des points de repère naturel.

1. Repère artificiels: Les repères artificiels sont des balises caractéristiques ajoutés à l'environnement, leurs positions sont connues. Cette technique est précise, robuste et satisfait la contrainte temps réelle. Cependant elle soufre de manque de souplesse et la lourdeur d'utilisation, elle nécessite un investissement lourd en équipement. Il y a 2 types de balises artificiels : actives et passives.

• **Balises actives:** Ce sont des balises émettant des signaux capté par l'équipement de mesure, ce qui permet une interaction avec les systèmes de perception du robot. Ces ondes peuvent être émises en continu ou être déclenchées par ordre de l'équipement embarqué sur le mobile. Il y a 2 principaux types d'organes de transmission : les émetteurs de sources lumineuses (infrarouge) et les antennes émettrices hyperfréquences. La méthode de localisation consiste à extraire à partir de l'image d'une balise les distances des balises par rapport au robot et effectuer une triangulation ensuite.

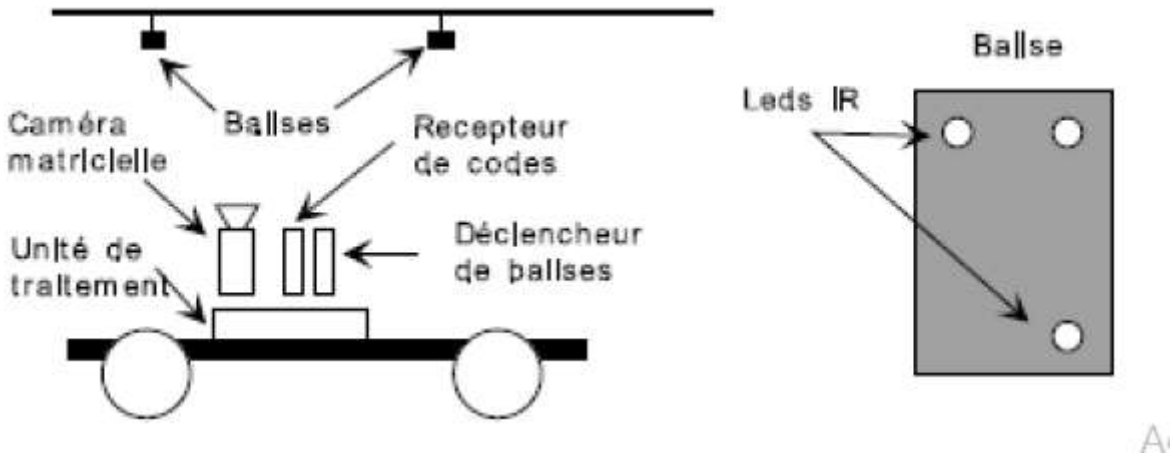


Figure III.9 : système de localisation par repérage de balises actives

• **Balises passives:** ce sont des repères artificiels placés dans des positions connues. Leur identification est différente à celle des balises actives, elle se fait par les systèmes de perception et n'est pas par changement des signaux. Le problème de la mise en correspondance est résolu par un codage au niveau du marquage des balises. Ces systèmes sont caractérisés par leur souplesse.

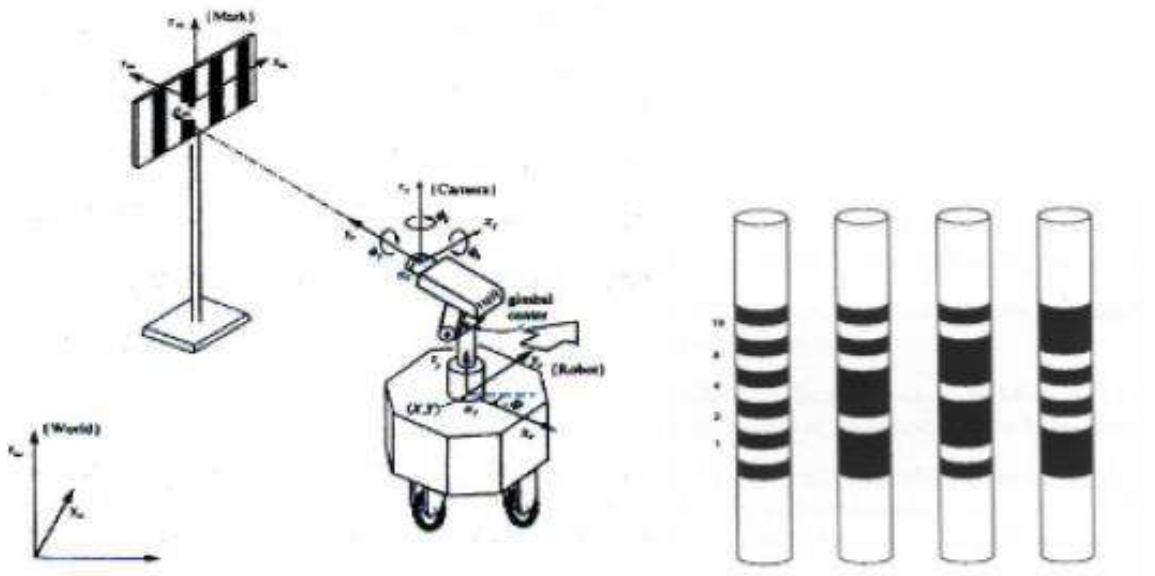


Figure III.10 : système de localisation par repérage de balises passives

2. Repère naturel: C'est une méthode permettant de calculer la position du robot en utilisant les éléments caractéristiques de l'environnement. Cette technique

caractérisée par sa souplesse, n'a pas besoin d'aménager l'environnement du robot. Cependant une connaissance de l'environnement est nécessaire sous forme d'une carte contenant la position des amers utilisés pour localiser le robot.

III.7) Résultat de simulation :

Les chapitre précédent ce sont des partie théorique ou une modélisation géométrique et cinématique ont été élaboré, et puis une commande de couple appliqué pour crée un robot mobile à roue maniable, vif, stable et commandable.

Et dans cette dernière étape c'est les résultats de simulation par l'utilisation de logiciel matlab(simulink)

Dans notre travail, nous avons fixé une cible spécifique pour le robot avec des obstacles, et cette figure III.11 était le résultat du chemin emprunté par le robot

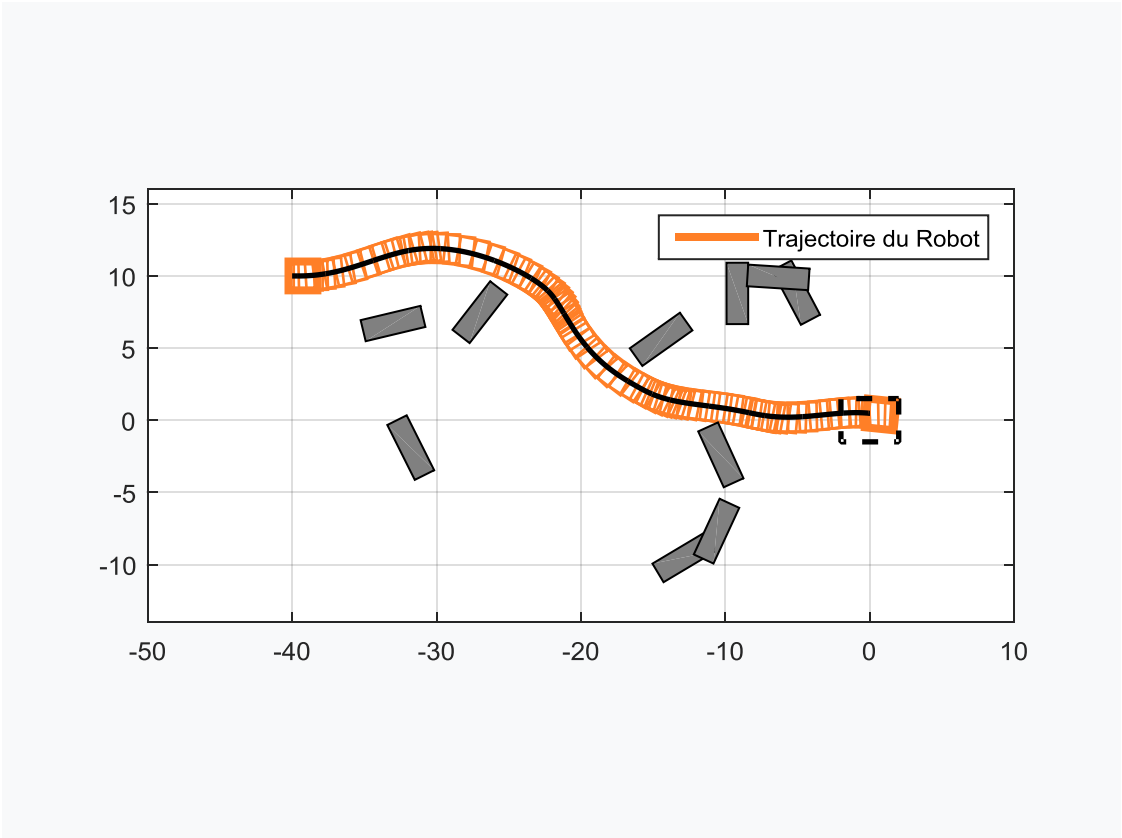


Figure III.11 : Trajectoire du robot

De ce chemin, nous avons pu extraire la vitesse du robot et l'angle de rotation pour un repère fixe et un repère mobile, et c'est ce qu'illustrent les graphiques suivant :

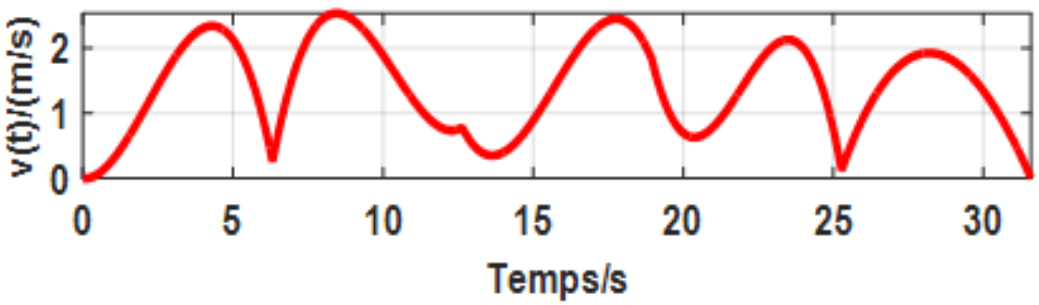


Figure III.12 : La vitesse du robot.

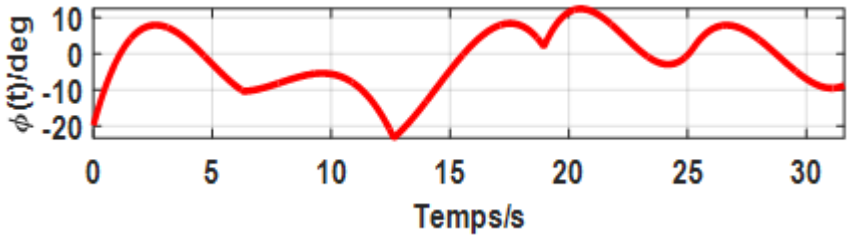


Figure III.13 : L'angle de rotation par rapport repère mobile.

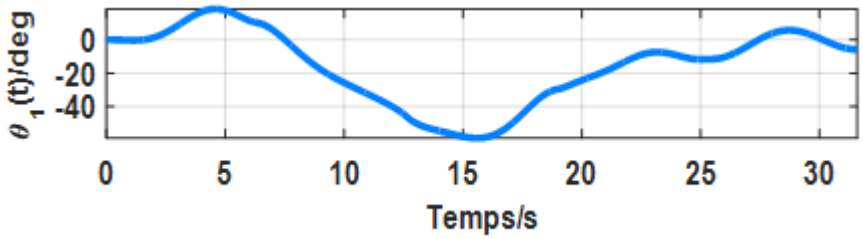


Figure III.14: L'angle de rotation par rapport repère fixe.

III.8) Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons développé une méthode pour une navigation autonome d'un robot mobile dans un environnement partiellement connu en évitant les collisions avec des obstacles statiques.

Conclusion générale

Conclusion générale :

Notre projet a porté sur l'étude et la Simulation des manipulateurs mobiles à roues.il nous a mis dans une vraie situation théorique, qui nous a permis de comprendre que plusieurs étapes sont nécessaires à savoir et à connaitre, et à apprendre.

La mise en œuvre de cette conception nous a demandé beaucoup d'attention et de soins. Comme elle est basée sur l'acquisition des notions mathématique et physiques, ceci a rendu la conception du programme un peu pénible, ajouté à cela le coté comparaison modèle réelle et le modèle de référence.

En générale nous dirons que par le biais de ce travail nous avons eu également l'opportunité de se familiariser et se développer avec le logiciel matlab et *matlab Simulink*. En fin, nous estimons que ce travail a été d'une grande utilité pour nous et qu'il sera bénéfique pour les promotions à venir. On espère que cette étude servira d'appui pour une éventuelle amélioration et qu'elle sera caractérisée comme une approche expérimentale.

Bibliographie

Bibliographie :

[1] Mordechai Ben-Ari • Francesco Mondada « Element of robotic».

[2] Slimane Noureddine. Systèmede localisation pour les robots mobile Phdthesis Université de Batna, 2005.

[3] Jérémie Guiochet, Sécurité des systèmes de la robotique Médicale, Ed. Technique Ingénieur, Mars 2016.

[4] Stéphane STENGER «Préconisation de robots "compagnons" par les ergothérapeutes **».**

[5] Nathalie NEVEJANS, Université d'Artois, Centre de Recherche en Droit Ethique et Procédures (EA n° 2471) octobre2016.

[6] Mémoire « SYSTEME DE LOCALISATION POUR ROBOTS MOBILES ».

[7] Cours robot mobile.

[8] « Commande optimale appliqué sur un robot mobile ».

[9] Borenstein, J., Everett, H. R., & Feng, L. (1996). Wheream I? Sensors and methods for mobile robot positioning. *University of Michigan*, *119*(120), 27.

[10] Siegwart, R. (2004). Nourbakhsh, Introduction to Autonomous Mobile Robots. *hc: alk. paper*, *1*, 13-36.

[11] Fatma Boufera. Contribution Des Outils de l'Intelligence Artificielle dans la robotique Mobile. PhDthesis, Université d'Oran Ahmed ben bella, 2014.

[12] A OualidDjekoune. Localisation Et Guidage Du Robot Mobile Artv2 Dans un Environnement Naturel. PhDthesis Université des Sciences et de Technologie Houari Boumediene, 2010.

[13] V. Lumelsky, T. Skewis, T, "Incorporating range sensing in the robot navigation function", IEEE Transactions Systems, Man, Cybernetics, 1990, 20(5), pp. 1058-1069.

[14] R. Siegwart, I.R. Nourbakhsh, "Introduction to Autonomous Mobile Robots", A Bradford Book, The MIT Press, Cambridge, Massachusetts, London, England

[15] AbdelouahabHassam, BoucettaKasmi, and MebroukBoubezoula. Planning of a trajectoryalongwithavoiding the obstacle based on fuzzylogicmethod for a unicycle mobile robot. The, 13:10-13.

[16] Bernard Bayle, Robotique mobile. Ecole Nationale Superieure de Physique de Strasbourg Université Louis Pasteur, 2008,2007.

[17] http://eavr.u-strasbg.fr/~bernard/education/3a_robmob/3a_robmob_poly.pdf.

[18] G. Oriolo, A. D. Luca, and M. Vendittelli, “WMR control via dynamic feedback linearization: design, implementation, and experimental validation,” *IEEE Transactions onControl SystemsTechnology*, vol. 10, no. 6, pp. 835–852, Nov 2002