

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université Djilali Bounaama - Khemis Miliana



Faculté des Sciences et de la Technologie

Département de la Technologie

Mémoire du Projet de Fin d'Etudes

Pour l'obtention de diplôme

Master

En

« Génie électrique »

Option : Automatique

« Automatique des système de production »

Titre :

Elaboration d'un contrôleur flou pour la navigation d'un robot mobile

Réalisé par :

- AMMAR Abdelkader
- SERDOUN Belkaceme

Encadré par :

- Dr.MALLEM Ali

Année Universitaire 2015/2016

Dédicace

❖ Je dédie ce modeste travail à :

Ma très chère mère.

Mes sœurs et mes frères.

Tous mes amis.

Toute la promotion 2016.

Et je spécialise une dédicace particulière pour faire un hommage à la sainte âme de mon père.

« SERDOUNE. Belkacem »

—
❖ Je dédie ce modeste travail à :

Mon très cher père.

Mes sœurs et mes frères.

Tous mes amis.

Toute la promotion 2016.

« AMMAR. Abdalkader »

- Et je spécialise une dédicace particulière pour faire un hommage à la sainte âme de ma mère.

Remerciements

Nous remercions, en premier lieu, le bon dieu qui a bien voulu nous donner la force pour effectuer le présent travail.

En second lieu, nous tenons à remercier notre encadreur Mr.

MALLEM ALI pour ces orientations.

Nous tenons également à remercier l'ensemble du personnel

d'UNIVERSITÉ DE DJILBAI BOUNAMBA pour toutes les informations qu'ils ont apporté à notre travail durant les deux années de notre formation.

abstract

The proposed work is to develop algorithms that could help the mobile robot around obstacles and continue its trajectory while the initial point is optimizing the travel distance to the final destination. So we propose a fuzzy controller which is an application of fuzzy logic control of dynamic systems for which we do not have satisfactory model. We used a fuzzy reactive system capable of facilitating navigation task, to overcome the uncertainties presented in the real world and help the robot to follow better paths. This system allows our robot to reach independently a defined avoiding obstacles in real-time purpose, without requiring complete environmental model.

Résumé

Le travail proposé consiste à élaborer les algorithmes qui pouvant aider le robot mobile à contourner les obstacles et à poursuivre sa trajectoire tout on optimisant la distance du point initial de parcours au point d'arrivée final. Donc on propose un contrôleur flou dont est une application de la logique floue au contrôle de systèmes dynamiques pour lesquels on ne possède pas de modèle satisfaisant. Nous avons utilisé un système flou réactif capable de faciliter la tâche de navigation, de surmonter les incertitudes présentées dans le monde réel et d'aider le robot à suivre de meilleurs chemins. Ce système permet à notre robot de rejoindre de façon autonome un but bien défini en évitant les obstacles en temps réel, sans exiger de modèle complet de l'environnement.

الملخص

العمل المقترح هو تطوير خوارزميات من شأنها أن تساعد الروبوت المتحرك بتجاوز العقبات ومواصلة مساره في الطريق الأمثل من نقطة الإنطلاق إلى الوجهة النهائية. لذلك نقترح استخدام متحكم غامض و الذي هو تطبيق من المنطق الضبابي للسيطرة على الأنظمة الديناميكية التي ليس لدينا نماذج مرضية لها . استخدمنا نظام رد الفعل غامض القادر على تسهيل مهمة التنقل، للتغلب على الشكوك التي قدمت في العالم الحقيقي، ومساعدة الروبوت لمتابعة مسارات أفضل. ويتيح هذا النظام لدينا الروبوت للوصول بشكل مستقل إلى هدف واضح المعالم، وتجنب العقبات في الوقت الحقيقي، دون الحاجة إلى نموذج بيئي كامل

Sommaire

dedicace.....	I
remerciements.....	II
resume	III
sommaire.....	IV
liste de figure.....	VII
liste de tableaux.....	X
introduction generale	1

CHAPITRE I : GENERALITES SUR LES ROBOTS MOBILES

I. INTRODUCTION.....	3
I.1 HISTORIQUE DE LA ROBOTIQUE MOBILE	4
I.1.2 Définition de la robotique.....	4
I.1.3 Robotique Mobile	4
I.2 PRESENTATION GENERALE DES ROBOTS MOBILES.....	5
I.2.1 Bref aperçu sur les robots mobiles.....	5
I.2.2 DEFINITION D’UN ROBOT	7
I.2.3 Types des robots	8
I.3 LES ROBOTS MOBILES.....	8
I.3.1 Définition d’un robot mobile.....	8
I.3.2 Classification des robots mobiles.....	8
I.3.2.1 Par génération	8
I.3.2.2 Par type	9
I.3.3 Les avantages dans l'utilisation des robots mobiles.....	9
I.3.4 Applications.....	10
I.3.5 La structure mécanique et motricité.....	11
I.4 MODELISATION D’UN ROBOT MOBILE	12
I.4.1 Définitions.....	12
I.4.2 Système de coordonnées.....	13
I.4.3 Modélisation Ccinématique du robot mobile.....	14
I.4.3.1 Modèle cinématique directe.....	15
I.4.3 Modélisation dynamique du robot mobile.....	17
I.4.5 Approche Lagrangiennes Dynamics.....	17
I.5 LA NAVIGATION	26
I.5.1 Méthodes de Navigation.....	27

I.6 LOCALISATION	28
I.7 CONCLUSION.....	28

CHAPITRE II : LA LOGIQUE FLOUE

II.1 INTRODUCTION	29
II.2 DEFINITION.....	29
II.3 BASES GENERALES.....	30
II.3.1 Les variables linguistiques.....	30
II.3.2 Fonctions d'appartenance.....	31
II.3.3 Dédutions aux inférences.....	32
II.4 LES ENSEMBLES FLOUS.....	33
II.4.1 Caractéristiques d'un ensemble flou.....	34
II.4.2 Opérations sur les ensembles flous.....	35
II.4.3 La Différence entre ensemble flou et ensemble booléen.....	37
II.5 SYSTEME D'INFERENCE FLOUE	37
II.5.1 Fuzzification.....	38
II.5.2 L'inférence.....	39
II.5.2.2 Base de règle sflou.....	39
II.5.2.3 Moteur d'inférence floue.....	40
II.5.2.3.1 Méthode de Mamdani.....	41
II.5.2.3.2 Méthode de Takagi-Sugeno.....	42
II.6 AVANTAGES ET INCONVENIENTS DE LA LOGIQUE FLOUE.....	43
II.7 LES PRINCIPAUX DOMAINES DE RECHERCHE ET D'APPLICATION DE LA L _F	44
II.8 CONCLUSION.....	44

CHAPITRE III : PROPOSITION D'UN CONTROLEUR FLOUE POUR L'EVITEMENT D'OBSTACLE

III.1 INTRODUCTION.....	45
III.2 ÉVITEMENT D'OBSTACLES	45
III.3 METHODES D'EVITEMENT D'OBSTACLES	46
III.3.1 Méthode de la fenêtre dynamique.....	46
III.3.2 Méthode de champ de potentiels.....	48
III.3.2.1 Concepts de base de champ artificiels potentiels.....	49
III.3.2.2 Développement de la méthode des champs de potentiel.....	50
III.3.3 Potentiel attractif.....	51

III.3.4 Potentiel répulsif	53
III.4 PLANIFICATION DE TRAJECTOIRES GUIDEES PAR CHAMPS POTENTIELS	53
III.5 COMPORTEMENT DE NAVIGATION BASE SUR LA LOGIQUE FLOUE	56
III.5.1 Module de détection d'obstacles.....	57
III.5.2 Comportement de navigation libre.....	57
III.5.3 Comportement d'évitement d'obstacles.....	58
III.6 CONTROLE FLOUE.....	59
III.6.1 Contrôle floue réactif d'un robot mobile de mouvement dans un environnement inconnu avec obstacles.....	59
III.6.1.1 Stratégie de navigation réactive de motion Collision-Free dans un environ- nement inconnu avec obstacles	59
III.6.2 Implémentation floue d'évitement d'obstacles	60
III.4 CONCLUSION	61
CHAPITRE IV : EXEMPLES ET RESULTATS DE SIMULATION	
IV.1 INTRODUCTION.....	62
IV.2 STRUCTURE DE BASE DE NOTRE CONTROLEUR FLOU	62
IV.2.1 Fuzzification.....	62
IV.2.1.1 Fuzzification de la variable angle robot _ cible.....	62
IV.2.1.2 Fuzzification de la variable angle de braquage.....	63
IV.2.1.3 Inférence.....	63
IV.2.1.4 Défuzzification.....	63
IV.2.1.5 Résultats expérimentaux	64
IV.3 COMPORTEMENT D'EVITEMENT D'OBSTACLES.....	69
IV.3.1 Fuzzification.....	69
IV.3.1.1 Fuzzification des variables d'entrées	69
IV.3.1.2 Fuzzification de la variable de sortie	69
IV.3.1.3 Inférence.....	70
IV.3.1.4 Defuzzification.....	71
IV.3.1.5 Résultats expérimentaux	71
4.4 CONCLUSION	78
Bibliographie.....	79
CONCLUSION GENERALE	82

Liste de figure

FIGURE I.1 : Exemples d'applications de la robotique	5
FIGURE I.2 : La tortue de grey walter (nommee "machina speculatrix"et surnommee elsie) .6	6
FIGURE I.3 : A gauche : robot "beast", a droite : le robot shakey de stanford	6
FIGURE I.4 : Genghis, developpe par rodney brooks au mit au debut des annees 1990.	7
FIGURE I.5 : Schema des interactions d'un robot avec son environnement. selon les approches, un modele interne de l'environnement peut etre utilise ou non.	7
FIGURE I.6 : Robot manipulateur	8
FIGURE I.7 : robot mobile.....	8
FIGURE I.8 : Quelques exemples d'application des robots mobiles.....	10
FIGURE I.9 : repereage d'un robot mobile	13
FIGURE I.10 : Inertielles et le systeme de coordonnees fixe sur le robot.	14
FIGURE I.11 : Robot mobile a commande differentielle.	15
FIGURE I.12 : Les vitesses du centre du robot.....	18
FIGURE I.13 : Diagramme du corps libre.....	21
FIGURE I.14 : Navigation de robot mobile en environnement encombre.....	26
FIGURE I.15 : Chaine fonctionnelle d'un systeme de navigation.	27
FIGURE II.1 : La logique floue et la logique classique	29
FIGURE II.2 : Une personne mesurant 1.36 m est petite avec un degre d'appartenance 0.4 et moyenne avec un degre de 0.6.	30
FIGURE II.3 : Formes usuelles des fonctions d'appartenance.....	32
FIGURE II.4 : Exemples des fonctions d'appartenance (a) ET (b)	33
FIGURE II.5 : Support, noyau, hauteur et α -coupe d'un ensemble flou.	35
FIGURE II.6 : Singleton flou.	35
FIGURE II.7 : Les fonctions d'appartenance associees aux operations complement ; intersection ; union.	36
FIGURE II.8 : Ensemble booleen et ensemble flou.....	37
FIGURE II.9 : Structure d'un sif.....	38
FIGURE II.10 : Configuration de base d'un systeme flou.....	40
FIGURE III.1 : Environnement experimental du robot mobile.	45
FIGURE III.3 : Contrainte d'evitement d'obstacles pour la methode de la fenetre dynamique.	47
FIGURE III.4 : Fenetre de selection des vitesses tenant compte de la dynamique du robot...48	48
FIGURE III.5 : Illustration de potentiels primitifs dont la combinaison guide les déplacements du robot. le robot se déplacera selon les lignes de courant.	48
FIGURE III.6 : Illustration de la combinaison de differents potentiels primitifs.	49

FIGURE III.7 : Presentation des forces de apf.	50
FIGURE III.8 : Presentation de potentiel attractif	52
FIGURE III.9 : Presentation de potentiel repulsif.....	53
FIGURE III.10: Planification de trajectoire d'un robot mobile par la technique apf (faisant varier la coefficient de repulsion).....	55
FIGURE III.11: Planification de trajectoire d'un 'r m' par la technique apf (4 obs).	55
FIGURE III.12 : Structure de base du systeme de navigation propose.....	56
FIGURE III.13 : Secteurs de detection du robot.	57
FIGURE III.14 : Structure du controleur de navigation libre	58
FIGURE III.15 : Structure du controleur d'evitement d'obstacle.	58
FIGURE III.16 : Definition de l'angle d'obstacle θ_1 et distance de l'obstacle p.	59
FIGURE III.17 : Schema du systeme d'inference floue.	60
FIGURE IV.1 : Structure de controleur floue pour l'evitement d'obstacle.	62
FIGURE IV.2 : Fonction d'appartenance de l'angle robot _ cible	62
FIGURE IV.3 : Fonction d'appartenance de l'angle de braquage.....	63
FIGURE IV.4 : a) Navigation libre avec la cible devant le robot avec $\theta_0 = \pi/4$	64
FIGURE IV.4 : b) Variation de l'angle de braquage du robot par rapport au temps.	65
FIGURE IV.4 : c) Variation de l'angle du robot par rapport au temps.	65
FIGURE IV.5 : a) Navigation libre avec la cible avant le robot avec $\theta_0 = 0$	66
FIGURE IV.5 : b) Variation de l'angle de braquage du robot par rapport au temps.	66
FIGURE IV.5 : c) Variation de l'angle du robot par rapport au temps.	67
FIGURE IV.6 : a) Navigation libre avec la cible derriere le robot avec $\theta_0 = 0$	67
FIGURE IV.6 : b) Variation de l'angle de braquage du robot par rapport au temps.	8
FIGURE IV.6 : c) Variation de l'angle du robot par rapport au temps.	68
FIGURE IV.7 : Navigation libre avec la cible derriere le robot.....	69
FIGURE IV.8 : Fonction d'appartenance des variables d'entrees.....	69
FIGURE IV.9 : Fonction d'appartenance de l'angle de braquage.....	70
FIGURE IV.10 : a) Navigation avec evitement d'un seul obstacle.....	71
FIGURE IV.10: b) Variation de l'angle de braquage du robot.....	72
FIGURE IV.10 : c) Variation de l'angle du robot.	72
FIGURE IV.11 : a) Navigation avec evitement de deux obstacles.	73
FIGURE IV.11 : b) La variation de l'angle de braquage du robot.	73
FIGURE IV.11 : c) La variation de l'angle du robot.....	74
FIGURE IV.12 : a) Navigation avec evitement de trois obstacles.	74

FIGURE IV.12 : b) Variation de l'angle du robot.....	75
FIGURE IV.12 : c) Variation de l'angle de braquage du robot.....	75
FIGURE IV.13 : Navigation avec evitement de trois obstacles.....	76
FIGURE IV.14 : a) Navigation avec evitement de quatre obstacles.....	76
FIGURE IV.14 : b) Variation de l'angle du robot.....	77
FIGURE IV.14 : c) Variation de l'angle de braquage du robot.....	77

Liste de tableaux

TABLEAU I.1 : DOMAINES D'APPLICATIONS DES ROBOTS	10
TABLEAU I.2 : TYPES DES ROBOTS MOBILES	11
TABLEAU I.3 : TYPES DES ROBOTS MOBILES A ROUES	13
TABLEAU II.1 : LES METHODES DE LA DEFUZZIFICATION	43
TABLEAU II.2 : AVANTAGES ET INCONVENIENTS DE LA LOGIQUE FLOUE.	43
TABLEAU II.3 : CERTAINS DOMAINES DE RECHERCHE ET D'APPLICATION DE LA LOGIQUE FLOUE	44
TABLEAU IV.1 : LES REGLES D'INFERENCE DE LA NAVIGATION LIBRE	63
TABLEAU IV.2 : Les règles d'inférence floue d'évitement d'obstacles	70

INTRODUCTION GENERALE

La robotique mobile est un domaine dans lequel l'expérience pratique est particulièrement illustratrice et importante pour la compréhension des problèmes, Pour être autonome, un robot mobile doit être capable d'adapter l'exécution d'un ensemble d'actions suivant les variations dans son environnement. Il a donc besoin de percevoir l'environnement et de raisonner sur les données perceptuelles acquises.

Il y a Plusieurs solutions ont été proposées pour la navigation autonome d'un robot mobile, Cependant cette navigation est dans tous les cas assez limitée, rencontrant des difficultés qui la rendent spécifique à une situation précise. Donc ici Le suivi de trajectoire est une mission importante pour un robot mobile. Il consiste à calculer les commandes envoyées aux actionneurs permettant de réaliser le mouvement planifié, tenant compte de la Localisation du robot mobile pour un bon contrôle du notre robot mobile .

Pour un bon contrôle du robot mobile, nous suivons quelques étapes nécessaires pour diriger le robot dans le chemin contient de nombreux obstacles, par exemple en donne « la position de la cible, le robot »et la position de chaque obstacle, et en donne aussi l'angle d'orientation, Pour ce faire, nous utilisons le contrôleur floue.

Pour imiter les compétences d'un bon conducteur de robot mobile, la logique floue est la technique la plus convenable pour la représentation des connaissances imprécises d'un expert. Notre travail concerne la conception d'un contrôleur floue pour la poursuite de trajectoire par un robot mobile d'intérieur. Notre intérêt est concentré sur l'optimisation du temps de traitement pour conserver l'aspect temps réel du contrôleur conçu.

Le mémoire est subdivisé en quatre chapitres :

Dans le premier chapitre, nous allons faire un tour rapide dans le monde de la robotique mobile pour examiner en bref les différents types de robot mobile et leur application, navigation, localisation...etc., et nous exposerons les principales architectures de commande pour les robots mobiles. Nous présenterons à la fin du chapitre la modélisation cinématique de robots mobiles à roues.

Le deuxième chapitre, est consacré à la logique floue et à la commande floue, où, nous exposerons les principales théories de la logique floue nécessaires à la conception d'un contrôleur floue.

Dans le troisième chapitre nous nous proposons un contrôleur flou avec des autres méthodes pour l'évitement d'obstacle d'un robot Mobile. Et aussi présentation du contrôleur floue proposé avec les secteurs de détection du robot.

Dans le quatrième chapitre, nous présenterons les résultats de simulation, suivi d'une conclusion générale ainsi que quelques perspectives envisagées pour la poursuite de ce travail.

CHAPITRE I

GENERALITES SUR LES ROBOTS MOBILES

I. Introduction

Les robots mobiles sont largement utilisés dans les environnements industriels, le plus souvent pour des tâches répétitives en suivant un chemin bien défini matérialisé parfois par des lignes sur le sol ou par l'utilisation d'amers artificiels. Cependant actuellement il y'a une forte tendance à élargir les milieux où évoluent les robots à des environnements domestiques. Les types d'applications possibles sont innombrables. Cela peut aller des tâches de nettoyage et d'entretien, à une assistance à une personne handicapée dans des tâches d'exploration et de préhension. On parle alors, de façon générale, de robotique d'intérieur. Un tel cadre d'utilisation requiert que le système robotisé dispose d'un niveau minimum d'autonomie et de facilités de navigation.

Actuellement le domaine des robots mobiles est un thème de recherche ouvert puisque aucune méthode globale n'est susceptible de générer des algorithmes suffisamment robustes, rapides et fiables pour être appliqués à tous types de problèmes.

Dans notre travail concernant l'élaboration d'un système de localisation pour robots mobiles, nous abordons le problème d'un robot évoluant dans un environnement d'intérieur à priori partiellement connu. Pour réaliser la localisation du robot mobile dans de telles conditions, la première étape sera donc de le doter d'un moyen de perception de l'environnement et d'analyse de ces informations. Ce moyen de perception doit notamment être rapide, précis et permettant une étendue de mesure la plus vaste possible. De plus, il doit être d'un encombrement réduit pour pouvoir être facilement installé sur le robot mobile. Accroître les capacités de perception des robots permet d'augmenter leur autonomie ou encore d'assister l'homme dans des situations où cela améliore sa sécurité ou lui permet de percevoir ce que ses sens ne voient pas.

La navigation de robots mobiles autonomes dans environnements imprévisibles et dynamiques est limitée par incertitude, la complexité et manque de fiabilité des questions de robots et leurs environnements. Dans ce contexte, pour un système de navigation pour un robot mobile autonome en utilisant la technique de la logique floue intelligente sera présentée.

Contrôle de la logique floue est capable d'émuler humaine expériences sur la meilleure façon de contrôler un système sans avoir besoin équations du modèle précis [1].

I.1 Historique de la robotique mobile

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 Stanford Research 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, quelque soit sa position [2].

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 [3].

I.1.2 Définition de la robotique

Le terme robotique a été employé pour la première fois par Asimov en 1941. Etymologiquement, le terme de robot apparaît pour la première fois dans une pièce de Karel Capek en 1921 'R.U.R' «Rossums Universal Robots», Il vient du tchèque 'robota' (servitude) et présente une vision des robots comme serviteurs dociles et efficaces pour réaliser les tâches pénibles mais qui déjà vont se rebeller contre leurs créateurs, il désigne un système automatique asservi à une unité de commande informatisée [3].

I.1.3 Robotique Mobile

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.



Figure I.1 : Exemples d'applications de la robotique

I.2 Présentation générale des robots mobiles

I.2.1 Bref aperçu sur les robots mobiles

La Tortue construite par Grey Walter dans les années 1950 (Figure I.2), est l'un des premiers robots mobiles autonomes. Grey Walter n'utilise que quelques composants analogiques, dont des tubes à vide, mais son robot est capable de se diriger vers une lumière qui marque un but, de s'arrêter face à des obstacles et de recharger ses batteries lorsqu'il arrive dans sa niche. Toutes ces fonctions sont réalisées dans un environnement entièrement

préparé, mais restent des fonctions de base qui sont toujours des sujets de recherche et de développement technologiques pour les rendre de plus en plus génériques et robustes.

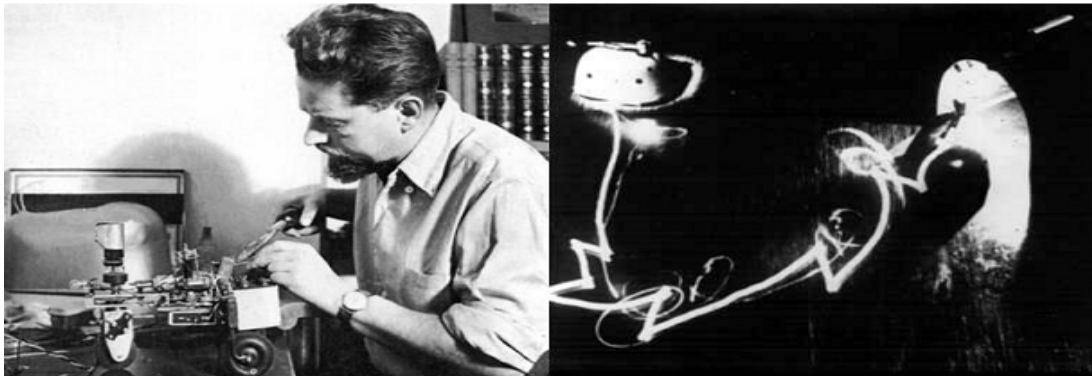


Figure I.2 : La tortue de Grey Walter (Nommée “machina speculatrix” et surnommée Elsie)

Dans les années 60, les recherches en électronique vont conduire, avec l’apparition du transistor, à des robots plus complexes mais qui vont réaliser des tâches similaires. Ainsi le robot "Beast" (Figure I.3) de l’université John Hopkins est capable de se déplacer au centre des couloirs en utilisant des capteurs ultrason, de chercher des prises électriques (noires sur des murs blanc) en utilisant des photo-diodes et de s’y recharger.

Les premiers liens entre la recherche en intelligence artificielle et la robotique apparaissent à Stanford en 1969 avec Shakey (Figure I.3). Ce robot utilise des télémètres à ultrason et une caméra et sert de plate-forme pour la recherche en intelligence artificielle, qui à l’époque travaille essentiellement sur des approches symboliques de la planification. La perception de l’environnement, qui à l’époque est considérée comme un problème séparé, voire secondaire, se révèle particulièrement complexe et conduit là aussi à de fortes contraintes sur l’environnement. Ces développements de poursuivent avec le Stanford Cart dans la fin des années 1970, avec notamment les premières utilisations de la stéréo-vision pour la détection d’obstacles et la modélisation de l’environnement.

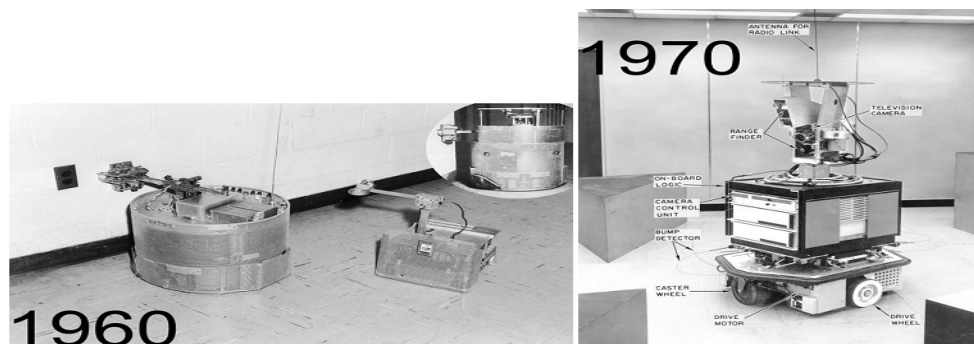


Figure I.3 : à gauche : Robot "Beast", A droite : Le robot Shakey de Stanford

Une étape importante est à signaler au début des années 1990 avec la mise en avant de la robotique réactive, représentée notamment par Rodney Brooks. Cette nouvelle approche de la robotique, qui met la perception au centre de la problématique, a permis de passer de gros robots très lents à de petits robots (Figure I.4), beaucoup plus réactifs et adaptés à leur environnement. Ces robots n'utilisent pas ou peu de modélisation du monde, problématique qui s'est avérée être extrêmement complexe.



Figure I.4 : Genghis, développé par Rodney Brooks au MIT au début des années 1990.

Ces développements ont continué et l'arrivée sur le marché depuis les années 1990 de plates-formes intégrées telles que le pioneer de la société Mobile Robots a permis à de très nombreux laboratoires de travailler sur la robotique mobile et à conduit à une explosion de la diversité des thèmes de recherche. Ainsi, même si les problèmes de déplacement dans l'espace et de modélisation de l'environnement restent difficiles et cruciaux, des laboratoires ont pu par exemple travailler sur des approches multi-robot, la problématique de l'apprentissage ou sur les problèmes d'interactions entre les hommes et les robots [2] [3].

I.2.2 Définition d'un robot

Un robot est un automate doté de capteurs et d'effecteurs lui donnant une capacité d'adaptation et de déplacement proche de l'autonomie au même temps est un agent physique réalisant des tâches dans l'environnement dans lequel il évolue.

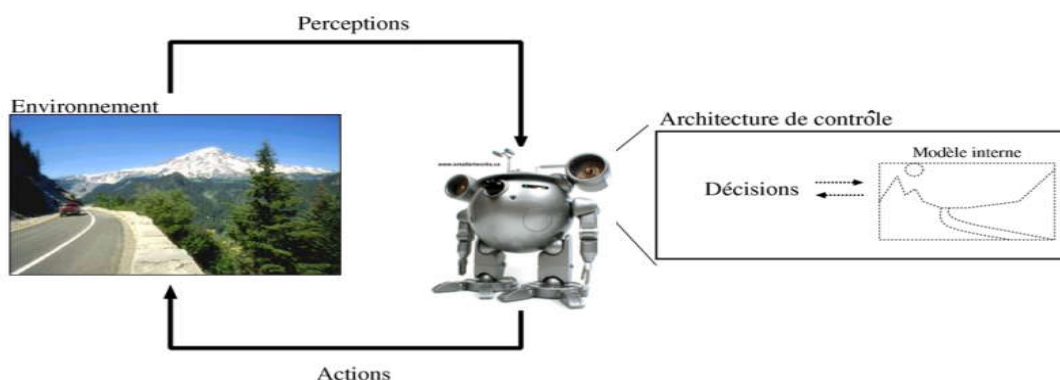


Figure I.5 : Schéma des interactions d'un robot avec son environnement. Selon les approches, un modèle interne de l'environnement peut être utilisé ou non.

I.2.3 Types des robots

Les deux grandes catégories de robots sont :

➤ **Robots manipulateurs**

Robots ancrés physiquement à leur place de travail et généralement mis en place pour réaliser une tâche précise ou répétitive (Figure I.6).

➤ **Robots mobiles**

Robots capables de se déplacer dans un environnement. Ils sont équipés ou non de manipulateurs suivant leur utilisation. Il est ce que nous allons étudier (Figure I.7) :



Figure I.6 : Robot manipulateur



Figure I.7 : Robot mobile

I.3 Les robots mobiles

I.3.1 Définition d'un robot mobile

Un robot mobile est une machine automatique capable de se mouvoir dans un environnement donné [4].

I.3.2 Classification des robots mobiles

I.3.2.1 Par génération

A l'heure actuelle, on peut distinguer trois générations de robots [5] :

a) Le robot passif

Il est capable d'exécuter une tâche qui peut être complexe, mais de manière répétitive, il ne doit pas y avoir de modifications intempestives de l'environnement. L'auto-adaptativité est très faible, de nombreux robots sont encore de cette génération.

b) Le robot actif

Il devient capable d'avoir une image de son environnement, et donc de choisir le bon comportement (sachant que les différentes configurations ont été prévues). Le robot peut se calibrer tout seul.

c) Le robot intelligent

Le robot est capable d'établir des stratégies, ce qui fait appel à des capteurs sophistiqués, et souvent à l'intelligence artificielle.

I.3.2.2 Par type

La classification des robots mobiles se fait suivant plusieurs critères (degré d'autonomie, système de locomotion, énergie utilisée ...) [6].

La classification la plus intéressante, et la plus utilisée est selon leur degré d'autonomie. Un robot mobile autonome est un système automoteur doté de capacités décisionnelles et de moyens d'acquisition et de traitement de l'information qui lui permettent d'accomplir sous contrôle humain réduit, un certain nombre de tâches, dans un environnement non complètement connu. On peut citer quelques types:

- -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.

Les principaux problèmes particuliers liés à la conception de tels robots sont:

1. La conception mécanique liée à la mobilité.
2. La détermination de la position et de latitude (orientation).
3. La détermination du chemin optimal.

I.3.3 Les avantages dans l'utilisation des robots mobiles

Les divers avantages des robots mobiles se résument ainsi:

1. Accroissement de la capacité de production.
2. Remplacement de l'homme dans l'exécution des tâches pénibles ou dangereuses.
3. Manutentions.

I.3.4 Applications

Le domaine d'application des robots mobiles est vaste, nous présentons quelques applications dans le tableau suivant et sur la figure (I.8).

Domaines	Applications
Industrie nucléaire	- surveillance de sites - manipulation de matériaux radioactifs - démantèlement de centrales
Sécurité civile	- neutralisation d'activité terroriste - déminage - pose d'explosif - surveillance de munitions
Chimique	- surveillance de site - manipulation de matériaux toxiques
Mine	- assistance d'urgence
Agricole	- cueillette de fruits - traite, moisson, traitement des vignes.
Nettoyage	- coque de navire - nettoyage industriel
Espace	- exploration
Industrie	- convoyage - surveillance
Sous-marine	- pose de câbles - recherche de modules - recherche de navires immergés - inspection des fonds marins
Militaire	- surveillance - pose d'explosif - manipulation de munitions

Tableau I.1 : domaines d'applications des robots

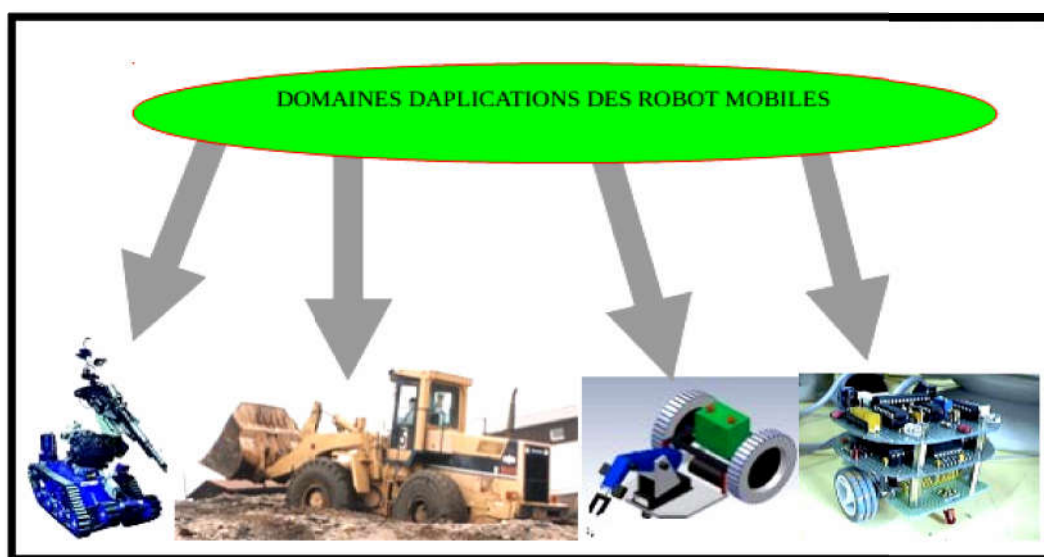


Figure I.8 : Quelques exemples d'application des robots mobiles.

I.3.5 La structure mécanique et motricité

Il existe quatre types de structures mécaniques assurant la motricité:

- A) Les robots à roues.
- B) Les robots à chenilles.
- C) Les robots marcheurs.
- D) Les robots rampants.

<p>A/ Les robots mobiles à roues: 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 importantes. Le franchissement d'obstacles ou l'escalade de marches d'escaliers est possible.</p>	
<p>B/ Les robots à chenilles : L'utilisation des chenilles présente l'avantage d'une bonne adhérence au sol et d'une faculté de franchissement d'obstacles. L'utilisation est orientée vers l'emploi sur sol accidenté ou de mauvaise qualité au niveau de l'adhérence.</p>	
<p>C/ Les robots marcheurs: Les robots marcheurs sont destinés à réaliser des tâches variées dont l'accès au site est difficile. Leur anatomie à nombreux degrés de liberté permet un rapprochement avec les robots manipulateurs. La locomotion est commandée en termes de coordonnées articulaires. Les différentes techniques étudiées se rapprochent de la marche des animaux et notamment de celle des insectes.</p>	
<p>D/ Les robots rampants La reptation est une solution de locomotion pour un environnement de type tunnel qui conduit à réaliser des structures filiformes. Le système est composé d'un ensemble de modules ayant chacun plusieurs mobilités.</p>	

Tableau I.2 : types des robots mobiles

I.4 Modélisation d'un robot mobile

Ce point consiste à représenter le comportement du robot par des équations algébriques, nous faisons appel à des notions mathématiques de point de vue vitesse (modèle cinématique) ou de point de vue des efforts mis en jeu (modèle dynamique). Les coordonnées articulaires et opérationnelles sont les paramètres qui caractérisent le modèle du robot. Les premières permettent au mécanisme de modifier sa géométrie et les secondes déterminent la position et l'orientation de l'organe terminal.

I.4.1 Définitions

On note $R = (O; x; y; z)$ un repère fixe quelconque, dont l'axe z est vertical et $R' = (O'; \bar{x}; \bar{y}; \bar{z}')$ un repère mobile lié au robot.

On choisit généralement pour " O' " un point remarquable de la plate-forme, typiquement le centre de l'axe des roues motrices s'il existe, comme illustré à la figure 1.9.

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

$$\xi = \begin{cases} x \\ y \\ z \end{cases} \quad (I.1)$$

Où x et y sont respectivement l'abscisse et l'ordonnée du point O' dans R et θ l'angle (x, \bar{x}) . La situation du robot est donc définie sur un espace 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.

Dans tous les cas, on définira la configuration du robot mobile par un vecteur.

$$q = \begin{pmatrix} q_1 \\ q_2 \\ \vdots \\ q_n \end{pmatrix} \quad (I.2)$$

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

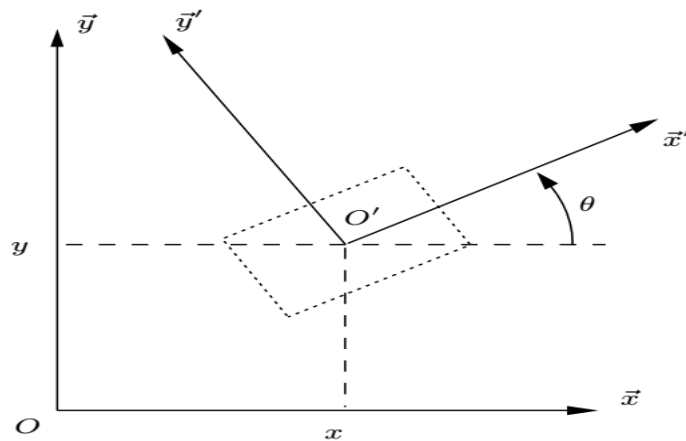


Figure I.9 : Repérage d'un robot mobile

Nous examinerons en particulier, les robots mobiles à roues.

Types de robots mobiles à roues	Figure	Image
Robot unicycle		
Robot tricycle		
type voiture		
Omnidirectionnel		

Tableau I.3 : types des robots mobiles à roues

I.4.2 Système de coordonnées

La fonction principale du système de coordonnées est de représenter la position du robot. Les deux systèmes de coordonnées suivants sont utilisés pour la modélisation et de contrôle de robot fins mobiles:

- Cadre Inertiel $\{X_I, Y_I\}$, Ceci est le système de coordonnées fixe dans le plan du robot.
- Cadre de Robot $\{X_R, Y_R\}$, Ceci est le système de coordonnées fixé sur le robot.

Les deux systèmes de coordonnées ci-dessus sont représentés à la (Figure I.10).

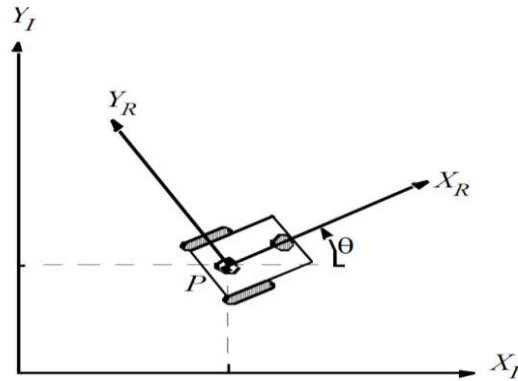


Figure I.10 : Inertielle et le système de coordonnées fixé sur le robot.

Présentation de ces systèmes de coordonnées est utile dans la modélisation cinématique du robot qui sera expliqué dans la section suivante. La question importante qui doit être expliquée est la correspondance entre ces deux cadres. La position du robot dans le cadre inertiel et le robot peut être définie comme suit:

$$q_I = [x_I \quad y_I \quad \theta_I]^T \quad (I.3)$$

$$q_R = [x_R \quad y_R \quad \theta_R]^T \quad (I.4)$$

La cartographie entre ces deux cadres est à travers la transformation de rotation orthogonale norme:

$$q_R = R(\theta)q_I \quad (I.5)$$

$$R(\theta) = \begin{bmatrix} \cos\theta & \sin\theta & 0 \\ \sin\theta & \cos\theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (I.6)$$

En utilisant les équations ci-dessus, nous avons la relation entre les vitesses du robot dans le repère local et le cadre inertiel qui est très important dans la cinématique du robot.

I.4.3 Modélisation cinématique du robot mobile

L'objectif de la modélisation robot cinématique est de trouver la vitesse du robot dans le cadre inertiel en fonction des vitesses de roues et les paramètres géométriques du robot (coordonnées configuration). En d'autres termes, nous voulons établir la vitesse du

robot $q = [x \ y \ \theta]^T$ en fonction des vitesses de roue φ_R et φ_L et les paramètres géométriques du robot ou nous voulons trouver la relation entre les paramètres de commande (φ_R et φ_L) et le comportement du système dans l'espace d'état.

La modélisation cinématique du robot a généralement deux analyses principales, une modélisation cinématique directe et une modélisation cinématique inverse:

➤ **Modélisation cinématique directe**

$$q = \begin{bmatrix} x \\ y \\ \theta \end{bmatrix} = f(\varphi_R, \varphi_L, \text{les paramètres géométriques}) \tag{I.7}$$

➤ **Modélisation cinématique inverse**

$$\begin{bmatrix} \varphi_R \\ \varphi_L \end{bmatrix} = f(x, y, \theta) \tag{I.8}$$

I.4.3.1 Modèle cinématique directe

Prendre une configuration de robot mobile d'entraînement différentiel qui comporte deux roues avec le rayon de R_a placé à une distance L du centre du robot, comme illustré sur la (figure I.11):

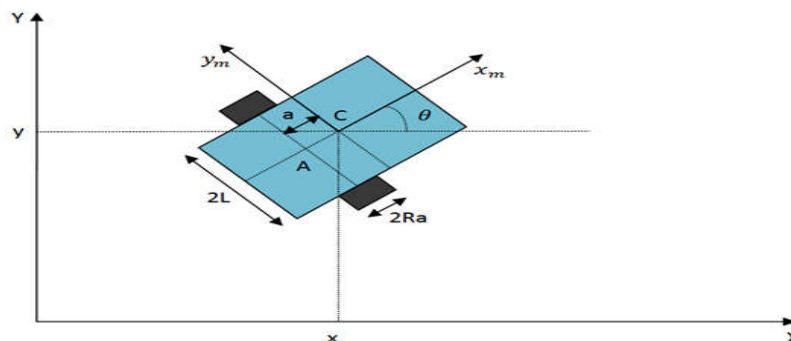


Figure I.11 : Robot mobile à commande différentielle.

A: L'intersection de l'axe de symétrie de l'axe des roues motrices

C: Le centre de masse de la plate-forme

a: La distance entre le centre de l'axe des roues de masse et de conduite dans la direction x

L: La distance entre chaque roue motrice et l'axe du robot de symétrie dans la direction y

R_a : Le rayon de chaque roue motrice

φ_R : La vitesse de la roue droite de rotation

φ_L : La vitesse de la roue gauche de rotation

v : La vitesse de translation de la plate-forme dans le repère local

ω : la vitesse de rotation de la plate-forme dans les trames locales et globales

Le problème cinématique direct peut être décrit comme le problème de trouver la fonction suivante:

$$q = \begin{bmatrix} x \\ y \\ \theta \end{bmatrix} = f(\varphi_R, \varphi_L, L, R_a, \theta) \quad (I.9)$$

La vitesse de chaque roue dans le cadre de robot est un $R_a\varphi$, par conséquent, la vitesse de translation dans le châssis de robot est la vitesse moyenne:

$$v = R_a \frac{\varphi_R + \varphi_L}{2} \quad (I.10)$$

Et la vitesse de rotation est :

$$\omega = \frac{R_a}{2L}(\varphi_R - \varphi_L) \quad (I.11)$$

Étant donné que $q_I = R(\theta)^{-1}q_R$, le modèle complet, qui est la vitesse du robot dans le repère inertiel est la suivante:

$$q_I = R(\theta)^{-1} \frac{R_a}{2} \begin{bmatrix} \varphi_R + \varphi_L \\ 0 \\ \frac{\varphi_R - \varphi_L}{L} \end{bmatrix} \quad (I.12)$$

L'inverse de la matrice de rotation est le suivant:

$$R(\theta)^{-1} = \begin{bmatrix} \cos(\theta) & \sin(\theta) & 0 \\ \sin(\theta) & \cos(\theta) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (I.13)$$

Par conséquent, la vitesse du robot dans le cadre global ou inertielle est:

$$q_I = \begin{bmatrix} x \\ y \\ \theta \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos(\theta) & \sin(\theta) & 0 \\ \sin(\theta) & \cos(\theta) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \frac{R_a}{2} \begin{bmatrix} \varphi_R + \varphi_L \\ 0 \\ \frac{\varphi_R - \varphi_L}{L} \end{bmatrix} = \begin{matrix} R_a \frac{\varphi_R + \varphi_L}{2} \cos(\theta) \\ R_a \frac{\varphi_R + \varphi_L}{2} \sin(\theta) \\ \frac{R_a}{2L}(\varphi_R - \varphi_L) \end{matrix} \quad (1.14)$$

L'équation ci-dessus est l'équation cinématique générale direct pour un Robot mobile à commande différentielle.

I.4.4 Modélisation dynamique du robot mobile

Formulation des équations du mouvement, ou dynamique, d'un robot est essentiel dans l'analyse, la conception et le contrôle d'un robot. La modélisation dynamique en général est l'étude de la motion du système dans lequel les forces sont modélisées et il peut inclure les énergies et les vitesses associées aux mouvements. La principale différence entre la modélisation dynamique et cinématique est que, dans la cinématique, nous étudions la motion sans tenir compte des forces qui influent sur la motion et nous traitent seulement avec les relations géométriques qui régissent le système.

Un système mobile de robot ayant un espace à n dimensions de configuration L avec des coordonnées généralisées (q_1, q_2, \dots, q_n) et soumis à des contraintes m peuvent être décrites par l'équation dynamique générale suivante:

$$M(q)\ddot{q} + V(q, \dot{q}) + F(q) + G(q) + \tau_d = B(q)\tau + A^T(q)\lambda \quad (I.15)$$

Où:

$M(q)$: est la matrice symétrique d'inertie définie positive

$V(q, \dot{q})$: est la matrice de centripète et Coriolis

$F(q)$: est la matrice de friction de surface

$G(q)$: est le vecteur gravitationnel

τ_d : borné perturbations inconnues symboliquement désignés, y compris la dynamique non modélisées non structurées

$B(q)$: est la matrice de transformation d'entrée

τ : est le vecteur d'entrée

$A^T(q)$: est la matrice associée aux contraintes

λ est le vecteur des forces de contrainte

I.4.5 Approche Lagrangiennes Dynamics

La dynamique d'analyse est une approche dans la dynamique qui traite le système dans son ensemble traitant avec des quantités scalaires telles que les énergies cinétiques et potentielles du système. Lagrange (1736-1813) a proposé une approche qui fournit une méthode puissante et polyvalente pour la formulation des équations de mouvement pour tout système dynamique. Les équations de Lagrange sont des équations différentielles dans lequel on considère les énergies du système et le travail effectué instantanément dans le temps. La dérivation de l'équation de Lagrange pour les systèmes holonomes exige que les coordonnées

généralisées soient indépendants. Pour un système non holonome, cependant, il doit y avoir plus de nombre de coordonnées généralisées que le nombre de degrés de liberté qui est en raison des contraintes sur le mouvement du système.

S'il y a des m équations de contraintes non holonomes de la forme suivante dans le système:

$$\sum_{i=1}^n a_{ij}dq_i + a_{jt}dt = 0, \quad j = 1, 2, \dots, m \tag{I.16}$$

Où a_{ij} sont des fonctions des coordonnées généralisées, que la forme générale de l'équation de Lagrange est la suivante:

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial L}{\partial \dot{q}_i} \right) - \frac{\partial L}{\partial q_i} = \sum_{j=1}^m \lambda_j a_{ji} + Q_i \quad i = 1, 2, \dots, n \tag{I.17}$$

Où :

q_1, q_2, \dots, q_n Sont les coordonnées généralisées

$L = T - V$, est le lagrangien qui est la différence entre l'énergie cinétique et potentielle du système.

λ_j : Est le multiplicateur Lagrangien ce qui concerne les contraintes pour les forces de contrainte

Q_i : Les forces non conservatrices dans le système

La première étape pour trouver l'équation dynamique est de trouver les systèmes d'énergie cinétique et potentielle. L'énergie potentielle du système est nulle parce que le mouvement est limité à la terre. La fonction de l'énergie cinétique du robot peut être dérivée en fonction des vitesses représentées sur la (figure I.12) :

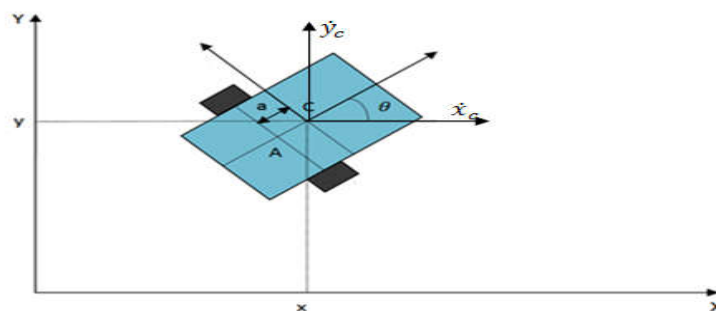


Figure I.12 : les vitesses du centre du robot

Pour trouver la vitesse du point A et C:

$$x_c = x_A + a \cos \theta \quad (I.18)$$

$$y_c = y_A + a \sin \theta \quad (I.19)$$

Donc:

$$\dot{x}_c = \dot{x}_A - a \theta \sin \theta \quad (I.20)$$

$$\dot{y}_c = \dot{y}_A + a \theta \cos \theta \quad (I.21)$$

La vitesse du centre de robot de l'axe de rotation:

$$v_A = \dot{x}_c i + \dot{y}_c j + a \theta \sin \theta i - a \theta \cos \theta j \quad (I.22)$$

$$v_A = (\dot{x}_c + a \theta \sin \theta) i + (\dot{y}_c - a \theta \cos \theta) j \quad (I.23)$$

L'énergie cinétique est:

$$T = \frac{1}{2} m v_A^2 + \frac{1}{2} I_A \theta^2 \quad (I.24)$$

$$T = \frac{1}{2} m [(\dot{x}_c + a \theta \sin \theta)^2 + (\dot{y}_c - a \theta \cos \theta)^2] \quad (I.25)$$

$$= \frac{1}{2} m [\dot{x}_c^2 + 2 \dot{x}_c a \theta \sin \theta + a^2 \theta^2 \sin^2 \theta + \dot{y}_c^2 - 2 \dot{y}_c a \theta \cos \theta + a^2 \theta^2 \cos^2 \theta] + \frac{1}{2} I_A \theta^2$$

$$T = \frac{1}{2} m \dot{x}_c^2 + \frac{1}{2} m \dot{y}_c^2 + m \dot{x}_c a \theta \sin \theta - m \dot{y}_c a \theta \cos \theta + \frac{1}{2} m a^2 \theta^2 + \frac{1}{2} I_A \theta^2 \quad (I.26)$$

De l'axe théorème parallèle, nous pouvons dire que:

$$I_C + m a^2 = I_A \quad (I.27)$$

Par conséquent, l'énergie cinétique du système sera:

$$T = \frac{1}{2} m \dot{x}_c^2 + \frac{1}{2} m \dot{y}_c^2 + \frac{1}{2} I_C \theta^2 + m a^2 \theta^2 + m \dot{x}_c a \theta \sin \theta - m \dot{y}_c a \theta \cos \theta \quad (I.28)$$

De l'équation de l'énergie cinétique au-dessus et sachant l'énergie potentielle est nulle, le lagrangien deviendra:

$$L = \frac{1}{2}mx_c^2 + \frac{1}{2}my_c^2 + \frac{1}{2}I_c\theta^2 + ma^2\dot{\theta}^2 + mx_c a\dot{\theta}\sin\theta - my_c a\dot{\theta}\cos\theta \quad (\text{I.29})$$

Les coordonnées généralisées à utiliser dans la formulation de Lagrange sont les suivantes:

$$q = [x_c, y_c, \theta] \quad (\text{I.30})$$

$$q = [x_c, y_c, \theta] \quad (\text{I.31})$$

L'approche étape par étape pour trouver les équations dynamiques en utilisant les coordonnées ci-dessus généralisées et lagrangien est la suivante:

$$\frac{\partial L}{\partial x_c} = mx_c + ma\dot{\theta}\sin\theta \quad (\text{I.32})$$

$$\frac{\partial L}{\partial y_c} = my_c - ma\dot{\theta}\cos\theta \quad (\text{I.33})$$

$$\frac{\partial L}{\partial \theta} = I_c\dot{\theta} + 2ma^2\dot{\theta} + mx_c a\dot{\theta}\cos\theta - my_c a\dot{\theta}\sin\theta \quad (\text{I.34})$$

Les dérivés de temps des trois équations ci-dessus sont les suivantes:

$$\frac{d}{dt}\left(\frac{\partial L}{\partial x_c}\right) = mx_c + ma\dot{\theta}\sin\theta + ma\dot{\theta}^2\cos\theta \quad (\text{I.35})$$

$$\frac{d}{dt}\left(\frac{\partial L}{\partial y_c}\right) = my_c - ma\dot{\theta}\cos\theta + ma\dot{\theta}^2\sin\theta \quad (\text{I.36})$$

$$\frac{d}{dt}\left(\frac{\partial L}{\partial \theta}\right) = I_c\ddot{\theta} + 2ma^2\ddot{\theta} + max_c\dot{\theta}\cos\theta - max_c\dot{\theta}\sin\theta - may_c\dot{\theta}\sin\theta + my_c a\dot{\theta}\cos\theta \quad (\text{I.37})$$

Le reste des dérivés pour compléter les équations de Lagrange sont les suivantes:

$$\frac{\partial L}{\partial x_c} = 0 \quad (\text{I.38})$$

$$\frac{\partial L}{\partial y_c} = 0 \quad (\text{I.39})$$

$$\frac{\partial L}{\partial \theta} = mx_c a\dot{\theta}\cos\theta + my_c a\dot{\theta}\sin\theta \quad (\text{I.40})$$

$$\frac{d}{dt}\left(\frac{\partial L}{\partial \theta}\right) = I_c\ddot{\theta} + 2ma^2\ddot{\theta} + max_c\dot{\theta}\cos\theta - max_c\dot{\theta}\sin\theta - may_c\dot{\theta}\sin\theta + my_c a\dot{\theta}\cos\theta \quad (\text{I.41})$$

Remplacer le terme ci-dessus dans l'équation de Lagrange, on a:

$$mx_c + ma\theta\sin\theta + ma\theta^2\cos\theta = F_x + C_1 \quad (I.42)$$

$$my_c - ma\theta\cos\theta + ma\theta^2\sin\theta = F_y + C_2 \quad (I.43)$$

$$(I_c + 2ma^2)\theta + max_c\sin\theta + max_c\theta\cos\theta - may_c\cos\theta + my_c a\theta\sin\theta \quad (I.44)$$

$$mx_c a\theta\cos\theta - my_c a\theta\sin\theta = \tau + C_3$$

Simplifier les équations ci-dessus, nous avons:

$$mx_c + ma\theta\sin\theta + ma\theta^2\cos\theta = F_x + C_1 \quad (I.45)$$

$$my_c - ma\theta\cos\theta + ma\theta^2\sin\theta = F_y + C_2 \quad (I.46)$$

$$(I_c + 2ma^2)\theta + max_c\sin\theta - may_c\cos\theta = \tau + C_3 \quad (I.47)$$

Où :

F_x : Est la force d'actionnement dans la direction x

F_y : est la force de l'actionneur dans la direction y

τ : est l'actionneur de couple de rotation sur le robot

C_x, C_y, C_θ : sont les forces de contrainte dans le x, y et directions

Représenter les équations ci-dessus sous la forme de la matrice, nous avons:

$$\begin{bmatrix} m & 0 & masin\theta \\ 0 & m & macos\theta \\ masin\theta & macos\theta & I_c + 2ma^2 \end{bmatrix} q + \begin{bmatrix} ma\theta^2\cos\theta \\ ma\theta^2\sin\theta \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} F_x \\ F_y \\ \tau \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} C_x \\ C_y \\ C_\theta \end{bmatrix} \quad (I.48)$$

Nous pouvons relier les forces dans les directions x, y et θ aux couples d'actionnement sur Chaque roue selon le schéma de corps libre du robot représenté sur la (figure I.13).

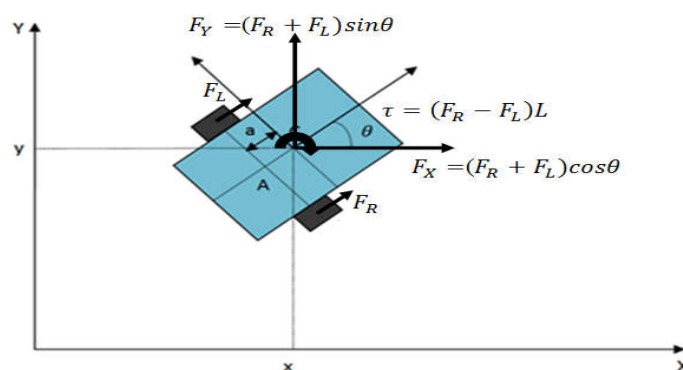


Figure I.13 : Diagramme du corps libre

$$F_R = \frac{\tau_R}{R_a} \quad (I.49)$$

$$F_L = \frac{\tau_L}{R_a} \quad (I.50)$$

$$F_X = \left(\frac{\tau_R}{R_a} + \frac{\tau_L}{R_a} \right) \cos\theta = \frac{\cos\theta}{R_a} (\tau_R + \tau_L) \quad (I.51)$$

$$F_Y = \left(\frac{\tau_R}{R_a} + \frac{\tau_L}{R_a} \right) \sin\theta = \frac{\sin\theta}{R_a} (\tau_R + \tau_L) \quad (I.52)$$

$$\tau = (F_R \quad F_L)L = \frac{L}{R_a} (\tau_R \quad \tau_L) \quad (I.53)$$

D'après les équations précédentes, on peut écrire la matrice de force d'entrée dans l'équation dynamique du système comme suit:

$$\begin{bmatrix} F_x \\ F_y \\ \tau \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\cos\theta}{R_a} (\tau_R + \tau_L) \\ \frac{\sin\theta}{R_a} (\tau_R + \tau_L) \\ \frac{L}{R_a} (\tau_R \quad \tau_L) \end{bmatrix} = \frac{1}{R_a} \begin{bmatrix} \cos\theta & \cos\theta \\ \sin\theta & \sin\theta \\ L & L \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \tau_R \\ \tau_L \end{bmatrix} \quad (I.54)$$

Comme il est mentionné dans la section précédente, les contraintes non-holonomes de ce système sont les suivants:

$$y_c \cos\theta - x_c \sin\theta - \theta a = 0 \quad (I.55)$$

$$x_c \cos\theta + y_c \sin\theta + L\theta = R_a \varphi_R \quad (I.56)$$

$$x_c \cos\theta + y_c \sin\theta - L\theta = R_a \varphi_L \quad (I.57)$$

D'après ces équations de contraintes, les forces de contrainte deviennent:

$$C_X = m(x_c \cos\theta + y_c \sin\theta) \theta \sin\theta \quad (I.58)$$

$$C_Y = m(x_c \cos\theta + y_c \sin\theta) \theta \cos\theta \quad (I.59)$$

$$C_\theta = ma(x_c \cos\theta + y_c \sin\theta) \theta \quad (1.60)$$

La représentation matricielle des forces de contrainte ci-dessus est la suivante:

$$\begin{bmatrix} C_X \\ C_Y \\ C_\theta \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} m(x_c \cos\theta + y_c \sin\theta)\theta \sin\theta \\ m(x_c \cos\theta + y_c \sin\theta)\theta \cos\theta \\ ma(x_c \cos\theta + y_c \sin\theta)\theta \end{bmatrix} = A^T(q)\lambda \quad (\text{I.61})$$

$$A^T(q) = \begin{bmatrix} \sin\theta \\ \cos\theta \\ a \end{bmatrix} \quad (\text{I.62})$$

$$\lambda = m(x_c \cos\theta + y_c \sin\theta)\theta \quad (\text{I.63})$$

Selon les dérivations ci-dessus, la forme complète de l'équation dynamique du robot mobile à commande différentiel est le suivant:

$$\begin{bmatrix} m & 0 & m \sin\theta \\ 0 & m & m \cos\theta \\ m \sin\theta & m \cos\theta & I_c + 2ma^2 \end{bmatrix} q + \begin{bmatrix} ma\theta^2 \cos\theta \\ ma\theta^2 \sin\theta \\ 0 \end{bmatrix} \quad (\text{I.64})$$

$$= \frac{1}{R_a} \begin{bmatrix} \cos\theta & \cos\theta \\ \sin\theta & \sin\theta \\ L & L \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \tau_R \\ \tau_L \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} m(x_c \cos\theta + y_c \sin\theta)\theta \sin\theta \\ m(x_c \cos\theta + y_c \sin\theta)\theta \cos\theta \\ ma(x_c \cos\theta + y_c \sin\theta)\theta \end{bmatrix}$$

En comparant l'équation ci-dessus et la forme générale de l'équation dynamique de robot (1.15), nous avons les paramètres suivants pour le système de robot mobile à commande différentiel:

$$M(q) = \begin{bmatrix} m & 0 & m \sin\theta \\ 0 & m & m \cos\theta \\ m \sin\theta & m \cos\theta & I_c + 2ma^2 \end{bmatrix}$$

$$V(q, \dot{q}) = \begin{bmatrix} ma\theta^2 \cos\theta \\ ma\theta^2 \sin\theta \\ 0 \end{bmatrix}$$

$F(q) = 0$ considéré comme nul dans cette dérivation

$G(q) = 0$ mouvement est contraint à la terre

$\tau_a = 0$ considéré comme nul dans cette dérivation

$$\tau = \begin{bmatrix} \tau_R \\ \tau_L \end{bmatrix}$$

$$A^T(q) = \begin{bmatrix} \sin\theta \\ \cos\theta \\ a \end{bmatrix}$$

$$\lambda = m(x_c \cos\theta + y_c \sin\theta)\theta$$

$$B(q) = \frac{1}{R_a} \begin{bmatrix} \cos\theta & \cos\theta \\ \sin\theta & \sin\theta \\ L & L \end{bmatrix}$$

Le système ci-dessus peut être transformé en une représentation plus appropriée à des fins de contrôle et de simulation. Dans cette transformation, nous essayons de trouver un moyen d'éliminer le terme de contrainte de l'équation. Les deux matrices suivantes sont définies pour faire cette transformation:

$$v_a(t) = \begin{bmatrix} v \\ \omega \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_R \\ \theta \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} v_1 \\ v_2 \end{bmatrix} \quad (I.65)$$

$$S(q) = \begin{bmatrix} \cos\theta & a\sin\theta \\ \sin\theta & a\cos\theta \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (I.66)$$

après l'équation cinématique directe on peut se rendre compte que la matrice $S(q)$ est la matrice avant cinématique modifiée qui a deux termes de vitesse liés à la distance entre le barycentre de robot et l'axe de roue. Par conséquent, nous pouvons écrire l'équation suivante pour le système:

$$q = \begin{bmatrix} x_c \\ y_c \\ \theta \end{bmatrix} = S(q)v_a(t) = \begin{bmatrix} \cos\theta & a\sin\theta \\ \sin\theta & a\cos\theta \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v \\ \omega \end{bmatrix} \quad (I.67)$$

Il peut facilement être prouvé que la matrice $S(q)$ a la relation suivante avec une matrice (q) :

$$S^T(q)A^T(q) = 0 \quad (I.68)$$

L'équation ci-dessus est utile lorsque l'on veut éliminer le terme contrainte de l'équation dynamique principale comme vous le verrez dans l'étape suivante. Différencier l'équation (1.67), nous avons :

$$\dot{q} = S(q)\dot{v}_a(t) + \dot{S}(q)v_a(t) \quad (I.69)$$

En substituant l'équation ci-dessus (1.64), sera :

$$M(q)[S(q)\dot{v}_a(t) + \dot{S}(q)v_a(t)] + V_m(q, \dot{q})S(q)v_a(t) + F(q) + G(q) + \tau_d = B(q)\tau + A^T(q)\lambda \quad (I.70)$$

$$M(q)S(q)\dot{v}_a(t) + M(q)\dot{S}(q)v_a(t) + V_m(q, \dot{q})S(q)v_a(t) + F(q) + G(q) + \tau_d = B(q)\tau + A^T(q)\lambda \quad (I.71)$$

Où :

$$V_m(q, \dot{q}) = \begin{bmatrix} 0 & 0 & ma\dot{\theta}\cos\theta \\ 0 & 0 & ma\dot{\theta}\sin\theta \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (I.72)$$

La prochaine étape pour éliminer la matrice de contraintes $A^T(q)\lambda$ est de multiplier l'équation (I.71) de $S^T(q)$ de la façon suivante:

$$[S^T(q)M(q)S(q)]v_a(t) + [S^T(q)M(q)S(q) + S^T(q)V_m^T(q, q)S]v_a(t) + S^T(q)F(q) \quad (I.73)$$

$$+ S^T(q)G(q) + S^T(q)\tau_d = S^T(q)B(q)\tau \quad S^T(q)A^T(q)\lambda$$

Comme on peut le voir d'après l'équation ci-dessus, nous avons $S^T(q)A^T(q)$, qui est égal à zéro selon l'équation (1.68). Par conséquent, le terme contraint est éliminée et la nouvelle équation dynamique est:

$$[S^T(q)M(q)S(q)]v_a(t) + [S^T(q)M(q)S(q) + S^T(q)V_m^T(q, q)S]v_a(t) \quad (I.74)$$

$$+ S^T(q)F(q) + S^T(q)G(q) + S^T(q)\tau_d = S^T(q)B(q)\tau$$

Par les définitions appropriées suivantes, nous pouvons réécrire l'équation ci-dessus comme suit:

$$\bar{M}(q)v_a(t) + \bar{V}_m(q, q)v_a(t) + \bar{F}(q) + \bar{G}(q) + \bar{\tau}_d = \bar{B}(q)\tau \quad (I.75)$$

$$S^T(q)M(q)S(q) = \bar{M}(q) \quad (I.76)$$

$$S^T(q)M(q)S(q) + S^T(q)V_m^T(q, q)S = \bar{V}_m(q, q) \quad (I.77)$$

$$V_m(q, q) = \begin{bmatrix} 0 & 0 & ma\theta\cos\theta \\ 0 & 0 & ma\theta\sin\theta \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (I.78)$$

$$S^T(q)F(q) = \bar{F}(q) = 0 \quad (I.79)$$

$$S^T(q)G(q) = \bar{G}(q) = 0 \quad (I.80)$$

$$S^T(q)\tau_d = \bar{\tau}_d \quad (I.81)$$

$$S^T(q)B(q) = \bar{B}(q) \quad (I.82)$$

$$S^T(q)A^T(q)\lambda = 0 \quad (I.83)$$

La nouvelle matrice de masse $\bar{M}(q)$ deviendra:

$$\bar{M}(q) = S^T(q)M(q)S(q)$$

$$= \begin{bmatrix} \cos\theta & \sin\theta & 0 \\ \sin\theta & \cos\theta & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} m & 0 & m\sin\theta \\ 0 & m & m\cos\theta \\ m\sin\theta & m\cos\theta & I_C + 2ma^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos\theta & \sin\theta \\ \sin\theta & \cos\theta \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (I.84)$$

$$= \begin{bmatrix} m\cos\theta & m\sin\theta & 0 \\ 0 & 0 & I_C + ma^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos\theta & \sin\theta \\ \sin\theta & \cos\theta \\ 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} m & 0 \\ 0 & I_C + ma^2 \end{bmatrix}$$

L'équation (I.75) est l'équation qui est utilisée pour le contrôle et la simulation de l'analyse du robot.

I.5 La navigation

Les stratégies de navigation permettant à un robot mobile de se déplacer pour rejoindre un but sont extrêmement diverses, de même que les classifications qui peuvent en être faites. Afin de situer les différentes méthodes de navigation que nous allons étudier dans un contexte général [7].

Cette classification comporte cinq catégories:

➤ **Approche d'un objet**

Cette capacité de base permet de se diriger vers un objet visible depuis la position courante du robot.

➤ **Guidage**

Cette capacité permet d'atteindre un but qui n'est pas un objet matériel directement visible.

➤ **Action associée à un lieu**

Cette capacité est la première capacité réalisant une navigation globale.

➤ **Navigation topologique**

Cette capacité est une extension de la précédente qui mémorise dans le modèle interne les relations spatiales entre les différents lieux.

➤ **Navigation métrique**

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

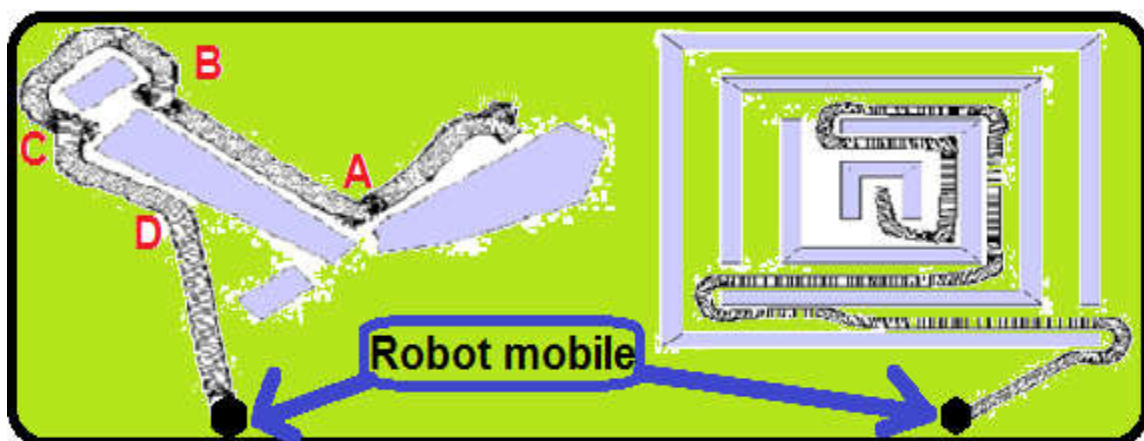


Figure 1.14 : Navigation de robot mobile en environnement encombré

I.5.1 Méthodes de Navigation

A) Navigation à l'estime

Elle consiste à déterminer la position par l'intégration de mesure de vitesse ou d'accélération. Les capteurs fournissant ces données sont les odomètres pour la mesure de vitesse ou des variations de position et les accéléromètres ou gyromètres pour des mesures d'accélération [8].

B) Navigation par odométrie

Les odomètres sont présents sur l'ensemble des robots mobiles à roues. Cette technique peu coûteuse consiste à fixer sur les roues des codeurs délivrant une impulsion toutes les fractions de tour de roue. L'intégration de ces valeurs permet de déduire la position et l'orientation du mobile par rapport à l'initialisation des compteurs d'impulsion. Comme mentionné plus haut, cette technique délivre des mesures peu fiables dans le temps.

C) Navigation inertielle

Les techniques inertielles (accéléromètres, gyromètres) plus coûteuses constituent le haut de gamme des systèmes de localisation à l'estime. La connaissance de la position référencée à l'origine du déplacement nécessite une double intégration de l'accélération. Ces calculs entraînent une inévitable accumulation d'erreurs qui constitue une dérive d'estimation dans le temps. Un recalage périodique est alors indispensable. La technique de localisation à l'estime présente l'immense avantage d'être indépendante de l'environnement. Les seules erreurs qu'elle peut générer sont celles dues à son mode de fonctionnement interne. Par contre, l'inconvénient majeur est l'accumulation d'erreurs due aux différentes intégrations [8].

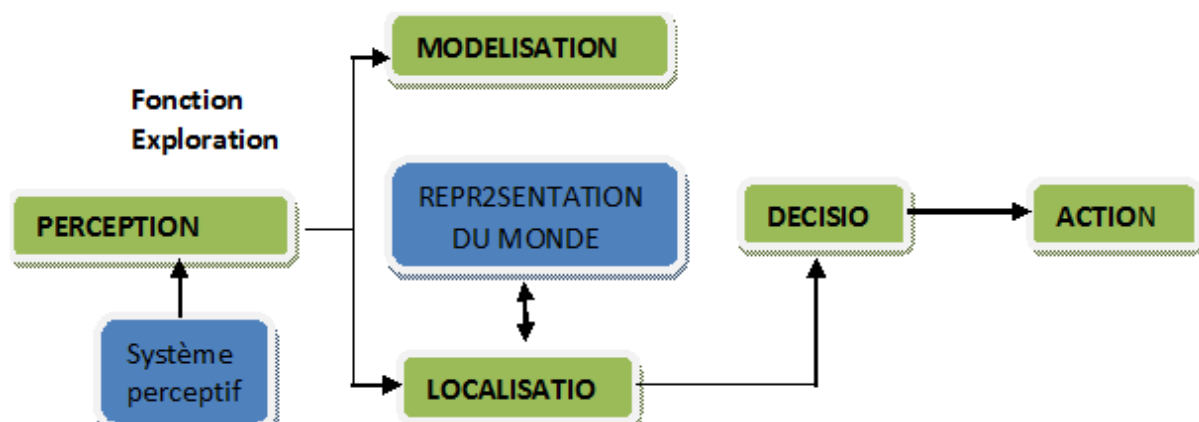


Figure I.15 : Chaîne fonctionnelle d'un système de navigation.

I.6 Localisation

Afin d'exécuter le mouvement planifié, le robot doit se localiser dans son environnement en estimant la position et l'orientation par rapport à un repère fixe. L'estimation peut s'effectuer soit par une mesure des déplacements du robot, soit par une mesure de sa position absolue dans l'environnement. Plusieurs approches de localisation sont utilisées en robotique mobile. Elles peuvent être classées en trois catégories: localisation basée sur une carte, localisation par rapport à des balises et localisation par rapport à d'autres robots. Du fait des incertitudes sur les mesures utiles pour la localisation, elle est généralement modélisée dans un cadre probabiliste. C'est ainsi que les méthodes de localisation se regroupent en deux catégories [9][11], soit :

❖ Localisation à l'estime ou relative

Obtenue par des informations issues des capteurs proprioceptifs, et consiste à déterminer la variation des coordonnées de position lors d'un déplacement en mesurant tout simplement les distances parcourues et les directions empruntées depuis sa position initiale.

❖ Localisation absolue

Obtenue par des informations issues de capteurs extéroceptifs, le robot doit toujours connaître sa situation pour se déplacer d'un point à un autre en identifiant des repères artificiels, la méthode des balises est la plus employée [10].

I.7 Conclusion

Le domaine des robots mobiles est très vaste, cette partie a souligné les points les plus importants qui nous concernent.

Ce premier chapitre fournit une présentation générale sur les robots mobiles. Il constitue également une introduction de l'étude conduite pour résoudre le problème de la navigation d'un robot mobile.

Nous avons discuté aussi le domaine de la robotique mobile, et à l'histoire de robots et de leurs types et classifications et de leurs applications, sans oublier la modélisation, la navigation et la Localisation.

CHAPITRE II

LA LOGIQUE FLOUE

II.1 Introduction 1

Au départ théorie, la logique floue s'affirme comme une technique opérationnelle. Utilisée à côté d'autres techniques de contrôle avancé, elle fait une entrée discrète mais appréciée dans les automatismes de contrôle industriel.

Les bases théoriques de la logique floue (fuzzy logic) ont été établies au début des années 1965 par le professeur « Zadeh » de l'université de Californie de Berkeley.

Cette technique associe les notions de « sous-ensemble flou » et de « théorie des possibilités ». Il s'agit d'une approche calquée sur le raisonnement humain plutôt que sur des calculs rigides; pour des problèmes mal définis, l'être humain est irremplaçable.

En effet, le mode de raisonnement en logique floue est plus intuitif que la logique classique. Il permet aux concepteurs de mieux appréhender les phénomènes naturels, imprécis et difficilement modélisables en s'appuyant sur la définition de règles et de fonctions d'appartenance à des ensembles dits « ensembles flous ».

Un domaine d'application de la logique floue qui devient fréquent est celui du réglage et de la commande des régulations industrielles. Cette méthode permet d'obtenir une loi de commande souvent efficace, sans devoir faire appel à des développements théoriques importants. Elle présente l'intérêt de prendre en compte les expériences acquises par les utilisateurs et opérateurs du processus à commander [12].

II.2 Définition

La logique floue est une extension de la logique classique qui permet la modélisation des imperfections des données et se rapproche dans une certaine mesure de la flexibilité du raisonnement humain [13].

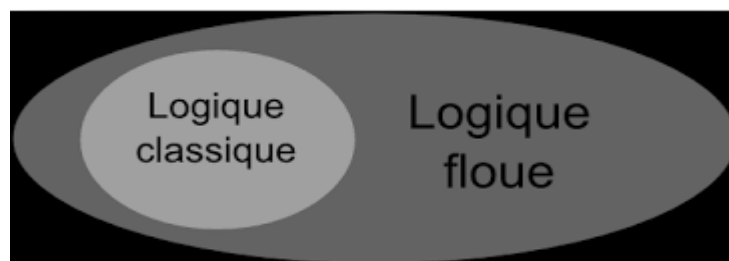


Figure II.1 : la logique floue et la logique classique

II.3 Bases Générales

- Les variables linguistiques.
- Les fonctions d'appartenance.
- Les déductions aux inférences.

II.3.1 Les variables linguistiques

La description d'une certaine situation, d'un phénomène ou d'un procédé contient en général des qualificatifs flous tels que :

- ❖ peu, beaucoup, énormément
- ❖ rarement, fréquemment, souvent
- ❖ froid, tiède, chaud
- ❖ petit, moyen, grand ...etc.

Généralement ; une variable linguistique est représentée par un triplet (V, U, T_V) où V est la variable linguistique elle-même, U est l'univers de discours et T_V l'ensemble des caractérisations floues de la variable.

Considérons par exemple la variable "taille" définie sur l'ensemble des entiers positifs et caractérisée par les ensembles flous (petit, moyen, grand.). La variable taille est alors représentée par le triplet suivant : $\{\text{taille}, \mathbb{R}^+, (\text{petit}, \text{moyen}, \text{grand})\}$.

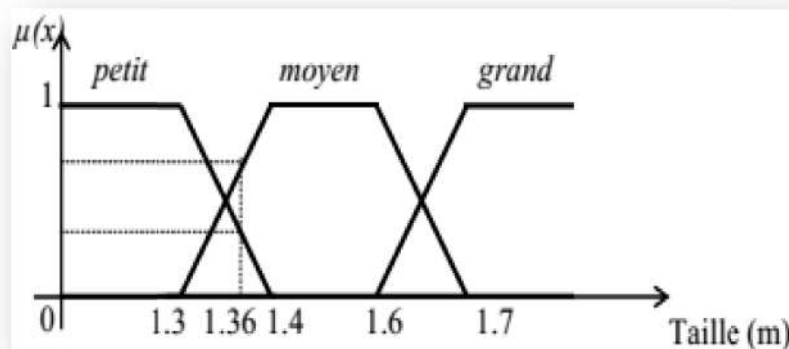


Figure II.2 : Une personne mesurant 1.36 m est petite avec un degré d'appartenance 0.4 et moyenne avec un degré de 0.6.

Exemple : la variable linguistique « température » peut appartenir aux ensembles flous « froid », « tiède » ou « chaud ».

II.3.2 Fonctions d'appartenance

Afin de permettre un traitement numérique des variables linguistiques dans la prise de décision pour le calcul, une définition des variables linguistiques à l'aide des fonctions d'appartenance s'impose. Dans ce contexte, on associe à chaque valeur de la variable linguistique une fonction d'appartenance désignée par $\mu_A(x)$ où est la variable linguistique, tandis que A indique l'ensemble concerné. Une valeur précise de $\mu_A(x)$ sera désignée par le degré ou le facteur d'appartenance. Le plus souvent, on utilise pour les fonctions d'appartenance les fonctions suivantes (figure II.2) [13] [14] [15]:

✚ Fonction triangulaire

Elle est définie par trois paramètres $\{a, b, c\}$ qui déterminent les coordonnées des trois sommets (figure II.3 (a)).

$$\mu_A(x) = \max \left[\min \left(\frac{x-a}{b-a}, \frac{c-x}{c-b} \right), 0 \right] \quad (\text{II.1})$$

✚ Fonction trapézoïdale

Elle est définie par quatre paramètres $\{a, b, c, d\}$ (figure II.2 (b)):

$$\mu_A(x) = \max \left[\min \left(\frac{x-a}{b-a}, 1, \frac{d-x}{d-b} \right), 0 \right] \quad (\text{II.2})$$

✚ Fonction gaussienne

Elle est définie par deux paramètres $\{\sigma, m\}$ (figure II.3 (c)):

$$e^{\left\{ -\frac{(x-m)^2}{2\sigma^2} \right\}} \quad (\text{II.3})$$

✚ Fonction sigmoïde

Une fonction sigmoïde est définie par deux paramètres $\{a, c\}$ (figure II.3 (d)):

$$1\mu_A(x) = \frac{1}{1 + e^{\{ -a(x-c) \}}} \quad (\text{II.4})$$

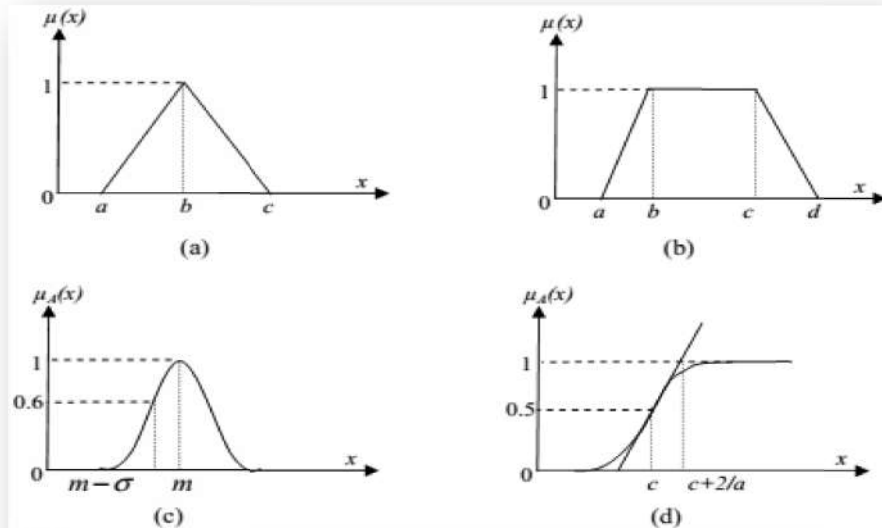


Figure II.3 : Formes usuelles des fonctions d'appartenance

II.3.3 Déductions aux inférences

Plusieurs valeurs de variables linguistiques sont liées entre elles par des règles et permettent de tirer des conclusions.

Les règles peuvent alors être exprimées sous la forme générale :

- Si condition 1 alors action 1 ou
- Si condition 2 alors action 2 ou
- Si condition n alors action n.

Les conditions peuvent dépendre de plusieurs variables liées entre elles par des opérateurs OU ou ET. Si température froide et hygrométrie importante alors ouvrir la vanne d'admission d'air chaud. Une simplification de la description des inférences s'obtient à l'aide d'une représentation par tableau, appelée matrice d'inférence.

Ecart de température

	+300	+	0	-	-300
+200	+	○	+	++	++
0	-	-	○	+	+
-200	-	--	-	-	○

- + ouvrir légèrement la vantelle
- ++ ouvrir totalement la vantelle
- 0 conserver la position de vantelle
- fermer légèrement la vantelle
- fermer totalement la vantelle

II.4 Les ensembles flous

Un ensemble classique (figure II.4 (a)) A de U est défini par une fonction caractéristique notée $\mu_A(x)$ telle que:

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 1, & x \in A \\ 0, & x \notin A \end{cases} \tag{II.5}$$

Le concept de base de la théorie des ensembles flous est la notion de sous-ensemble flou. Cette notion provient du constat que «très souvent, les classes d'objets rencontrés dans le monde physique ne possèdent pas de critères d'appartenance bien définis».

Soit U une collection d'objets (par exemple $U = \mathbb{R}^n$) appelée univers de discours. Un ensemble flou A dans U est caractérisé par une fonction d'appartenance, notée: $\mu_A(x)$, ($\mu_A : U \rightarrow [0,1]$), qui appliquée à un élément x de U, retourne un degré d'appartenance $\mu_A(x)$ de x à A (figure II.4 (b)). Un ensemble flou peut être considéré comme une généralisation de l'ensemble classique. La fonction d'appartenance d'un ensemble classique peut prendre seulement deux valeurs {0,1}. Un ensemble flou peut être représenté comme un ensemble de paires ordonnées:

$$A = \{ x, \mu_A(x) / x \in U \} \tag{II.6}$$

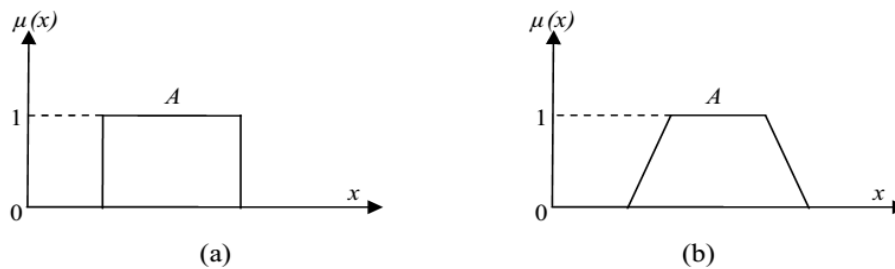


Figure II.4 : Exemples des fonctions d'appartenance
(a) Logique classique (b) Logique floue

Si U est discret, est représenté par :

$$\sum_{x_i} \mu_A(x_i) / x_i \tag{II.7}$$

Si U est continu, A est représenté par :

$$A = \int_x \mu_A(x) / x \tag{II.8}$$

Les ensembles flous ont le grand avantage de constituer une représentation mathématique des termes linguistiques largement utilisés dans le langage naturel des experts.

II.4.1 Caractéristiques d'un ensemble flou

Ce sont essentiellement celles qui montrent dans quelle mesure l'ensemble flou diffère de l'ensemble booléen.

Support

$\text{Supp}(A) = \{x \in X / f_A(x) \neq 0\}$, c'est l'ensemble booléen des éléments de X qui appartiennent au moins un peu à l'ensemble flou.

Hauteur

$H(A) = \sup_{x \in X} f_A(x)$, c'est le plus fort degré d'appartenance avec lequel un élément de X appartient à l'ensemble flou, ce dernier est dit normalisé si sa hauteur est de 1.

Noyau

$\text{Noy}(A) = \{x \in X / f_A(x) = 1\}$, c'est l'ensemble booléen de tous les éléments appartenant de façon absolue à l'ensemble flou.

Coupe de niveau α ou α -coupe

α -coupe(F) = $F_0 = \{x \in X, \mu_A(x) \geq \alpha\}$, c'est l'ensemble booléen des éléments de X qui appartiennent à A avec un degré d'appartenance au moins égal à α .

Singleton flou de X

$$\mu_{\{x\}}(x) = 1 \text{ et } \mu_{\{x\}}(y) = 0, \forall y \neq x$$

- **Ensemble flou convexe**

Un ensemble flou A est convexe si :

$$\mu_A(\lambda x_1 + (1-\lambda)x_2) \geq \min(\mu_A(x_1), \mu_A(x_2)) \text{ tel que } x_1, x_2 \in X, \lambda \in [0,1]$$

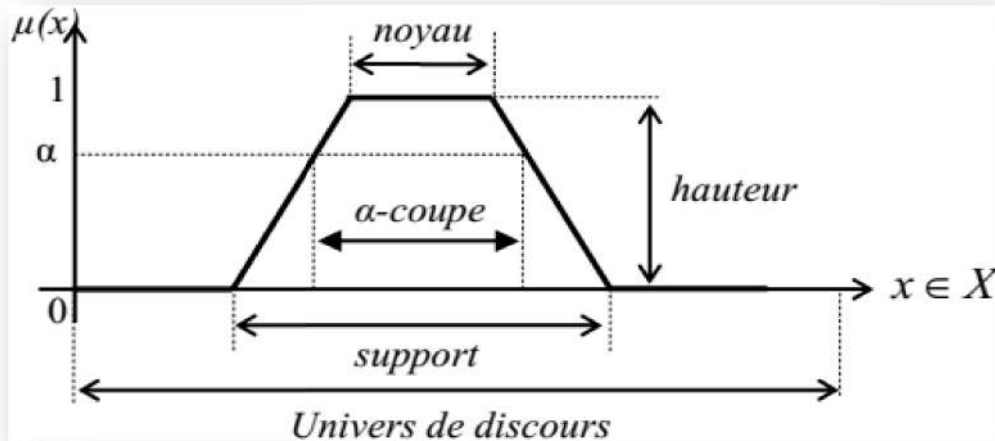


Figure II.5 : Support, noyau, hauteur et α -coupe d'un ensemble flou.

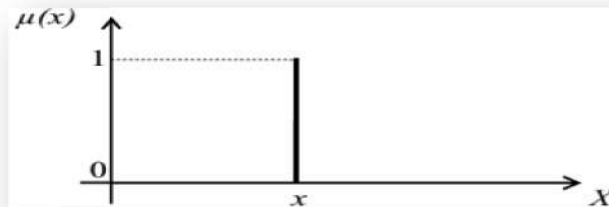


Figure II.6 : Singleton flou.

II.4.2 Opérations sur les ensembles flous

Maintenant, on va définir brièvement les opérations de base effectuées sur les ensembles flous, celles-ci sont définies en terme de leur fonction d'appartenance.

Soient A et B des ensembles flous dans l'univers X, décrits par leurs fonctions d'appartenance $\mu_A(x)$, $\mu_B(x)$, respectivement.

A) Egalité :

De deux ensembles flou A et B est notée $A=B$, elle est donnée par :

$$\forall x \in X, \mu_A(x) = \mu_B(x) \tag{II.9}$$

B) Inclusion :

On dit que A est inclus dans B, noté $A \subset B$, si et seulement si :

$$\forall x \in X, \mu_A(x) \leq \mu_B(x) \tag{II.10}$$

C) Intersection :

Notée $A \cap B$, définie par :

$$\forall x \in X, \mu_{A \cap B}(x) = \min (\mu_A(x), \mu_B(x)) \tag{II.11}$$

D) Union :

Notée $A \cup B$, définie par l'équation :

$$\forall x \in X, \mu_{A \cup B}(x) = \max (\mu_A(x), \mu_B(x)) \tag{II.12}$$

E) Complément :

D'un ensemble flou A , noté \bar{A} , est défini par :

$$\forall x \in X, \mu_{\bar{A}}(x) = 1 - \mu_A(x) \tag{II.13}$$

➤ **Remarque :**

$$\forall x \in X, A \cap \bar{A} \neq \emptyset$$

La figure suivante représente les opérations complément, intersection et union des ensembles flous :

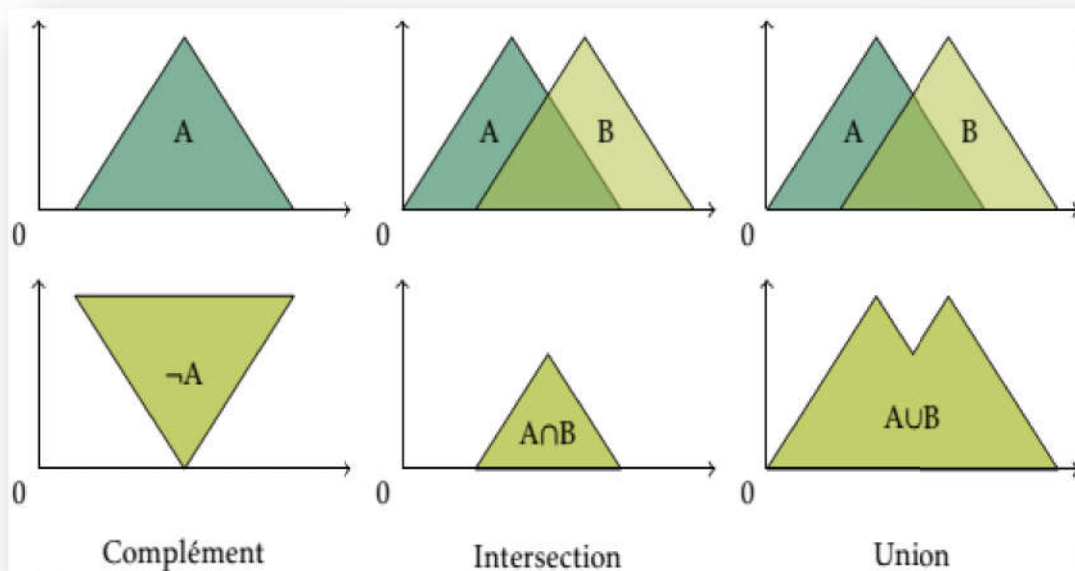
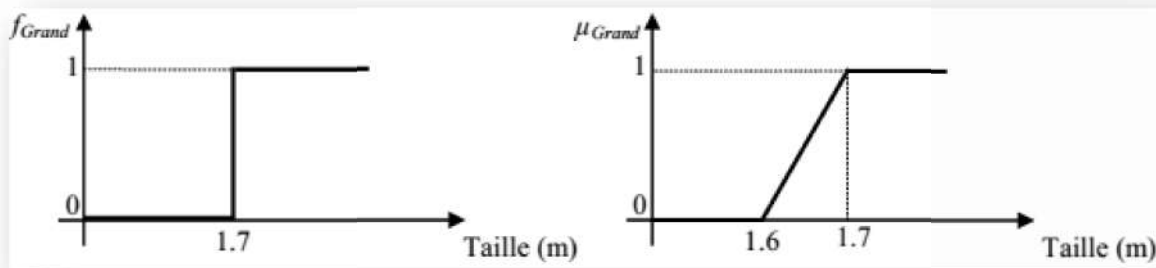


Figure II.7 : Les fonctions d'appartenance associées aux opérations : Complément ; Intersection ; Union.

II.4.3 La Différence entre ensemble flou et ensemble booléen

Alors qu'un ensemble booléen est défini par sa fonction caractéristique f à valeurs 0 ou 1, un ensemble flou est défini par sa fonction d'appartenance μ à valeurs dans l'intervalle $[0, 1]$.

Considérons l'exemple suivant :



Ensemble booléen

Ensemble flou

Figure II.8 : Ensemble booléen et ensemble flou

L'ensemble des tailles possibles d'un individu représente l'univers de discours de la variable « taille ». « Grand » est une valeur linguistique de cette variable.

Soit 1.65 m la taille de X. dans le cas de l'ensemble booléen X n'appartient pas à la classe des « Grands ». Dans le cas de l'ensemble flou X appartient à la classe des « Grands » avec un certain degré d'appartenance.

La notion d'ensemble flou évite l'utilisation arbitraire des limites rigides d'appartenance à des classes, il serait aberrant de considérer qu'un individu de 1.70 m est grand, mais qu'un individu de 1.695 m ne l'est pas.

II.5 Système d'Inférence Floue

Un Système d'Inférence Floue (SIF) a comme but de transformer les données d'entrée en données de sortie à partir de l'évaluation d'un ensemble des règles. Les entrées sont issues du processus de fuzzification et l'ensemble de règles sont définies par le savoir-faire de l'expert. Un SIF (voir figure II.8) est constituée de trois étapes:

- 1) Fuzzification.
- 2) Inférence.
- 3) Défuzzification.

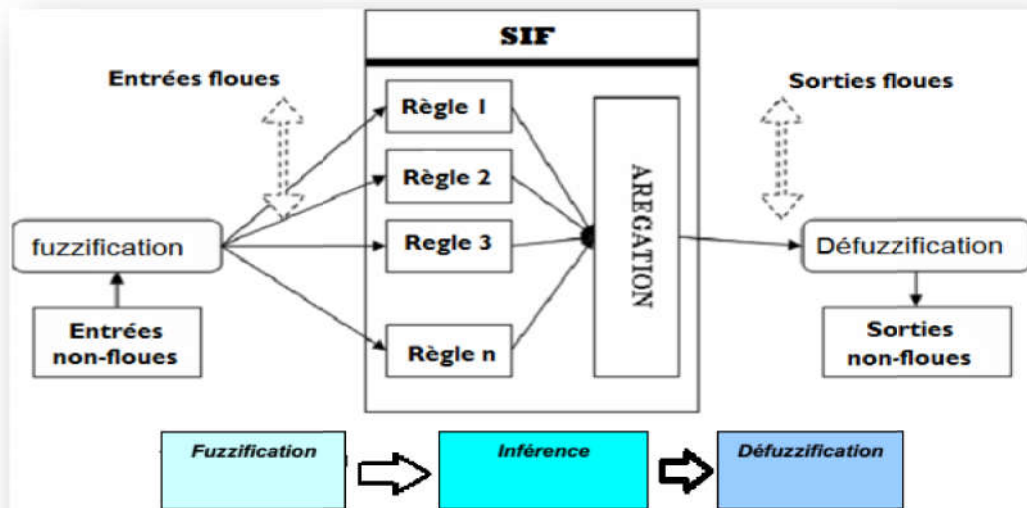


Figure II.8 : Structure d'un SIF

II.5.1 Fuzzification

La fuzzification est l'opération de rendre une entrée classique en valeur linguistique. Des valeurs d'entrée sont traduites en concepts linguistiques représentés comme des ensembles flous. Les fonctions d'appartenance sont appliquées aux mesures et des degrés de vérité sont établis pour chaque proposition.

Comment fuzzifier ?

Pour fuzzifier, il faut donner:

- 1) L'univers du discours, i.e.: Plage de variations possibles de l'entrée considérée.
- 2) Une partition en classe floue de cet univers.
- 3) Les fonctions d'appartenances de chacune de ces classes.
 - Il faut fuzzifier les entrées ET les sorties du processus flou.

Exemple

Selon les valeurs des entrées, le système flou indiquera qu'en sortie la puissance de chauffe devra prendre les valeurs de sortie « faible » ou « moyenne » ou « forte ».

II.5.2 L'inférence

Opération logique par laquelle on admet une proposition en vertu de sa liaison avec d'autres propositions tenues pour vraies « Nouveau Petit Robert ».

(Avec la base de règles) : prise des décisions (chaque règle activée donne un sous-ensemble flou de sortie).

II.5.2.1 Règles « d'inférence »

• Méthode MAX-MIN

- Au niveau de la condition : ET est représenté par la fonction Min, OU est représenté par la fonction Max

- Au niveau de la conclusion : OU est représenté par la fonction Max, ALORS est représenté par la fonction Min (d'où la désignation)

• Méthode MAX-PROD

- Au niveau de la condition : ET est représenté par la fonction Min, OU est représenté par la fonction Max.

- Au niveau de la conclusion : OU est représenté par la fonction Max, ALORS est représenté par la fonction Prod (d'où la désignation).

• Méthode SOMME-PROD

Il s'agit de la Somme Pondérée (ou Moyenne) :

- Au niveau de la condition : ET est représenté par la fonction Prod, OU est représenté par la fonction « Somme ».

- Au niveau de la conclusion : OU est représenté par la fonction Somme, ALORS est représenté par la fonction Prod (d'où la désignation).

II.5.2.2 Base de règles floues

Une base de règles floues est une collection de règles floues de la forme «SI-ALORS», $R = [R_1, R_2, \dots, R_m]$, Une règle floue R_i est donnée sous le modèle de « Mamdani » comme suit [16]:

$$R_i : \text{Si } x_1 \text{ est } A_{i1} \text{ et } x_2 \text{ est } A_{i2} \text{ et } \dots \text{ et } x_n \text{ est } A_{in} \text{ ALORS } y \text{ est } B_i \quad (\text{II.14})$$

Ou sous le modèle de « Takagi-Sugeno (TS) » sous la forme:

$$R_i: \text{Si } x_1 \text{ est } A_{i1} \text{ et } x_2 \text{ est } A_{i2} \text{ et } \dots \text{ et } x_n \text{ est } A_{in} \text{ ALORS } y \text{ est } f_i(x). \quad (\text{II.15})$$

$f_i(x)$ Est un polynôme (hyperplan). Si le polynôme est d'ordre zéro (sous forme d'une constante), on dit que le modèle est de TS d'ordre zéro (TS0), et si le polynôme est du premier ordre, on dit que le modèle est de TS d'ordre un [17].

II.5.2.3 Moteur d'inférence floue

Le moteur d'inférence floue utilise la base des règles floues pour effectuer une transformation à partir des ensembles flous dans l'espace d'entrée vers les ensembles flous dans l'espace de sortie en se basant sur les opérations de la logique floue. L'antécédent de la règle R_i , définit un produit cartésien de $A_{i1}, A_{i2}, \dots, A_{in}$, et la règle elle-même R_i , est vue comme une implication. Soit $B_i = A_i \circ R_i$ dans V . La fonction d'appartenance de B_i est définie par la règle compositionnelle (II.30):

$$\mu_{B_i}(y) = \text{SUP}_{x \in A_i} (\mu_{A_i}(x) * \mu_{R_i}(x, y)) \quad (\text{II.16})$$

Dans le jeu de règles du système flou interviennent les opérateurs flous "ET(AND)" et "OU(OR)". L'opérateur "ET" s'applique aux variables à l'intérieur d'une règle, tandis que l'opérateur "OU" lie les différentes règles. Plusieurs types de raisonnement flou ont été proposés dans la littérature suivant la réalisation des opérateurs flous "ET" et "OU" et le type des règles floues utilisées. Les trois moteurs d'inférence floue les plus utilisés sont: le moteur de Mamdani, de Sugeno.

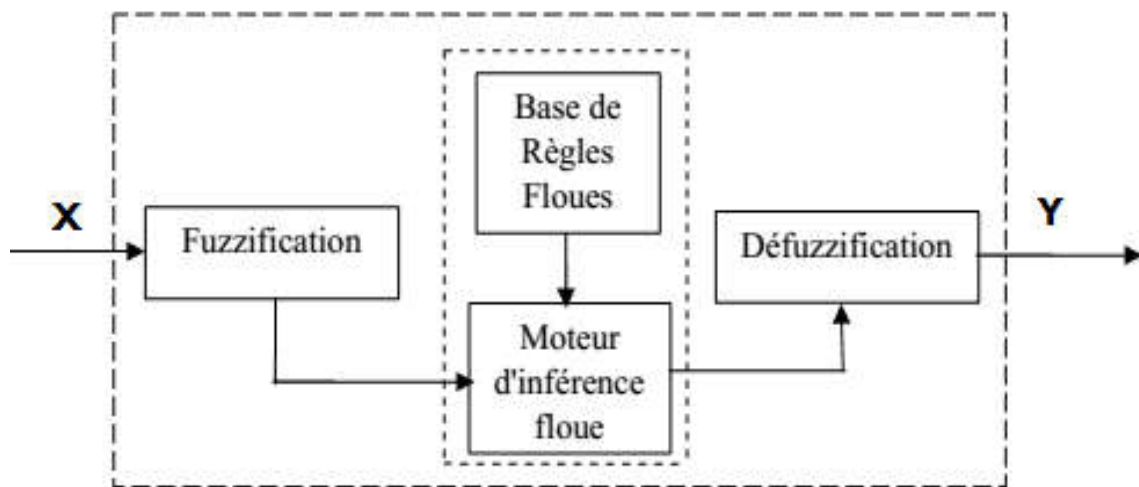


Figure II.9 : Configuration de base d'un système flou

II.5.2.3.1 Méthode de Mamdani

Mamdani fut le premier à utiliser la logique floue pour la synthèse des commandes [36]. Il a utilisé le minimum comme opérateur de conjonction et d'implication.

Les règles correspondant à l'équation (II.10) où B^i est un sous ensemble flou. Généralement, les B^i forment une partition de l'espace de sortie. L'inférence floue correspond aux étapes suivantes, pour un vecteur d'entrée $x=(x_1, \dots, x_n)^i$ [18] :

1. Calcul du degré d'appartenance de chaque entrée aux différents sous ensembles flous:

$$\mu_{A_j}^i(x_j), \text{ pour } j = 1 \text{ à } n \text{ et } i = 1 \text{ à } n \quad (\text{II.17})$$

Où : n est la dimension d'espace d'entrée et N : Nombre des règles floues.

2. Calcul de valeur de vérité de chaque règle, pour $i=1$ à N :

$$\alpha_i(x) = \min_j [u_{A_j}^i(x_j)] \quad (\text{II.18})$$

3. Calcul de la contribution de chaque règle selon l'équation (eq. II.13):

$$\mu_i(y) = \min(\alpha_i(x), u_{B_i}(y)) \quad (\text{II.19})$$

4. Agrégation des règles en utilisant l'opérateur max:

$$\mu_i = \max_i(u_i(y)) \quad (\text{II.20})$$

Le résultat est donc un sous ensemble flou caractérisée par sa fonction d'appartenance. Pour obtenir une conclusion exacte, il faut défuzzifier. Plusieurs méthodes peuvent être utilisées : la méthode de centre de gravité donne :

$$y = \frac{\int uU(u) du}{\int U(u) du} \quad (\text{II.21})$$

Ou dans le cas discret:

$$y = \frac{\sum_k u_k U(u_k)}{\sum_k U(u_k)} \quad (\text{II.22})$$

Cette implémentation est appelée (min, max, barycentre). Ils existent plusieurs variantes de la méthode de Mamdani comme (min, produit, barycentre) et (produit, somme, barycentre)...etc. [15].

II.5.2.3.2 Méthode de Takagi-Sugeno

Les SIFs de type Takagi-Sugeno constituent un cas particulier important; ou la conclusion n'est pas symbolique mais une fonction des entrées: $B^i = f(x_1, \dots, x_n)$, la forme la plus utilisée est la suivante:

$$B^i = \sum_{j=0}^n b_j^i x_j \quad (\text{II.23})$$

Un SIF de type Takagi-Sugeno réalise une fusion de modèles locaux par interpolation. Un SIF est dit d'ordre zéro ou de méthode de Takagi-Sugeno simplifiée si la conclusion est une constante, et SIF d'ordre 1 quand la conclusion est un hyperplan (l'équation II.23). Le modèle de Takagi-Sugeno d'ordre 0 est le plus utilisé. Dont les conclusions sont des nombres réels, ou singletons, (pouvant être considérés comme la valeur modale d'un sous ensemble flou) [17].

Pour le vecteur d'entrée $x = (x_1, \dots, x_n)^t$ la sortie d'un système d'inférence flou de type Takagi-Sugeno d'ordre 0 est calculée selon les étapes suivantes [18] :

1. Calcul du degré d'appartenance de chaque entrée aux différents sous ensembles flous :

$$\mu_{A_j^i}(x_j), \text{ pour } j = 1 \text{ à } n \text{ et } i = 1 \text{ à } N \quad (\text{II.24})$$

2. Calcul de la valeur de vérité de chaque règle pour un vecteur d'entrée x , pour $i = 1$ à N

$$\alpha_i(x) = ET(u_1^i, \dots, u_{A_n^i}(x_n)) \quad (\text{II.25})$$

3. Calcul de la sortie :

$$y = \frac{\sum_{i=1}^N \alpha_i(x) \cdot b^i}{\sum_{i=1}^N \alpha_i(x)} \quad (\text{II.26})$$

Les SIFs de type Takagi-Sugeno permettent un passage aisé d'une expression symbolique définie par la base de règle à une valeur numérique exploitable.

II.5.3 Défuzzification

La défuzzification consiste à transformer l'ensemble flou résultant de l'agrégation des règles en une grandeur de commande précise. Là aussi il existe plusieurs méthodes [19].

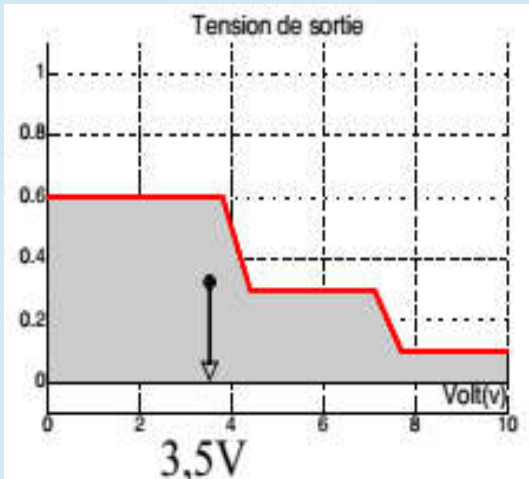
Les deux principales méthodes de défuzzification sont :

1. Méthode du centre de gravité (COG)

C'est l'abscisse du centre de gravité de la surface sous la courbe résultat.

$$\text{Sortie} = \frac{\int_U Y \cdot u(y) \cdot dy}{\int_U u(y) \cdot dy}$$

U=Univers du discours = Toutes les valeurs de sorties considérées.



2. Méthode moyenne des maximums (MM)

C'est la moyenne des valeurs de sorties les plus vraisemblables.

$$\text{Sortie} = \frac{\int_S Y \cdot dy}{\int_S dy}$$

où $S = \{y_0 \in U / u(y_0) = \text{SUB}(u(y))\}$, $y \in u$

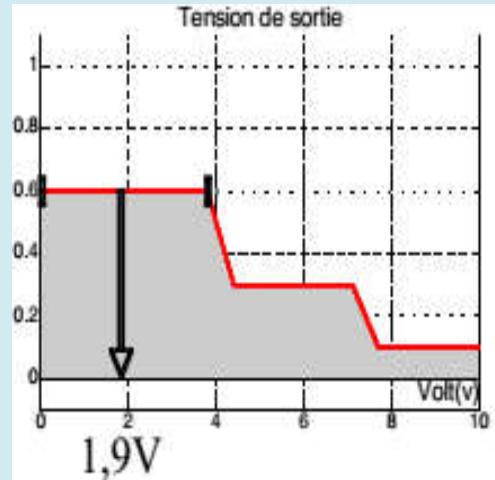


Tableau II.1 : les méthodes de la défuzzification

II.6 Avantages et inconvénients de la Logique floue

	Avantages	Inconvénients
Logique floue	<ul style="list-style-type: none"> - Méthode rapide. - Choisie le plus court chemin. - Stoppe le robot mobile au point cible. 	<ul style="list-style-type: none"> - Trajectoire moins lisse et d'une courbure de faible continuité

Tableau II.2 : Avantages et inconvénients de la Logique floue.

II.7 Les principaux domaines de recherche et d'application de la logique floue

Le tableau suivant présente certains domaines de recherche et d'application de la logique floue :

Terrain	applications majeures
Automatisation	-production du fer et de l'acier, -purification de l'eau, -chaînes et robots de fabrication, ...
Instrumentation	-capteurs, -instruments de mesure, - reconnaissance de voix et de caractères, ...
Conception/Jugement	-Consultation -investissement et développement, - horaires de train, ...
Ordinateurs	- opérateurs, -unités arithmétique, -micro-ordinateurs, ...
Traitement d'info	- base de données, -recherche d'information, - modélisation de systèmes, ...

Tableau II.2 : certains domaines de recherche et d'application de la logique floue.

II.8 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons parlé de la logique floue que traite la stratégie de contrôle des mouvements du même robot mobile. Et aussi nous avons présenté une étude générale sur les bases de la logique floue, et Les ensembles flous (Caractéristiques, Opérations), et le système d'inférence floue (fuzzification, L'inférence, Défuzzification).

Nous avons vu aussi les avantages et les inconvénients et les domaines de recherche et d'application de la logique floue.

CHAPITRE III

PROPOSITION D'UN CONTROLEUR FLOU POUR L'EVITEMENT D'OBSTACLE

III.1 Introduction

L'évitement d'obstacles est un comportement quasiment essentiel pour tous les robots mobiles. Il lui permet de naviguer en présence d'obstacles tout en gérant les écarts entre le modèle interne du robot et le monde réel.

L'efficacité des méthodes que nous présenterons dans ce rapport a été prouvée dans différents travaux de recherche. Cependant, cette efficacité est conditionnée par l'existence d'une perception correcte de l'environnement (nature du capteur : laser, sonar, caméra). Pour remédier à ce problème, l'utilisation d'une représentation locale (de l'environnement proche du robot et centrée sur le robot).

Parmi ces méthodes il y a l'évitement d'obstacles par : la fenêtre dynamique, le flux optique et la zone de déformation virtuelle et champs de potentiels. Nous nous concentrons sur les deux méthodes :

- a) champs de potentiels.**
- b) contrôleur flou.**

III.2 Évitement d'obstacles

Le suivi de la trajectoire planifiée ne permet pas de garantir l'absence des collisions avec les objets statiques ou dynamique existants. L'évitement d'obstacles est un comportement de base présent dans quasiment tous les mouvements des robots mobiles [20], [21], [22]. Ces collisions peuvent se produire lors de l'exécution de la trajectoire, dues à une localisation imparfaite, un plan imprécis ou des obstacles qui n'étaient pas dans le modèle de l'environnement utilisé pour la planification de trajectoire. Le robot mobile autonome doit avoir une capacité d'évitement d'obstacles efficace.



Figure III.1 : Environnement expérimental du robot mobile.

III.3 Méthodes d'évitement d'obstacles

III.3.1 Méthode de la fenêtre dynamique

La méthode de la fenêtre dynamique proposée initialement par Fox et al. [23], et étendue par Brock et Khatib[24], repose sur l'utilisation de la perception locale de l'environnement.

Cette perception procure des informations permettant de générer un couple de vitesse de translation et de vitesse de rotation. Ce couple doit être calculé de manière à répondre à certaines contraintes dont celles d'éviter les obstacles. La méthode de la fenêtre dynamique permet de sélectionner le couple qui répond le mieux à ces contraintes. Une fenêtre qui fait apparaître les vitesses accessibles à partir des vitesses courantes du robot, est générée à chaque pas de temps. Au sein de cette fenêtre il faut choisir les couples de vitesses assurant une navigation sans collision.

En 2005 Rimon et Koditschek ont proposé un traitement théorique qui a prouvé la convergence des propriétés de la méthode de la fenêtre dynamique en utilisant le théorème de Lyapunov [25].

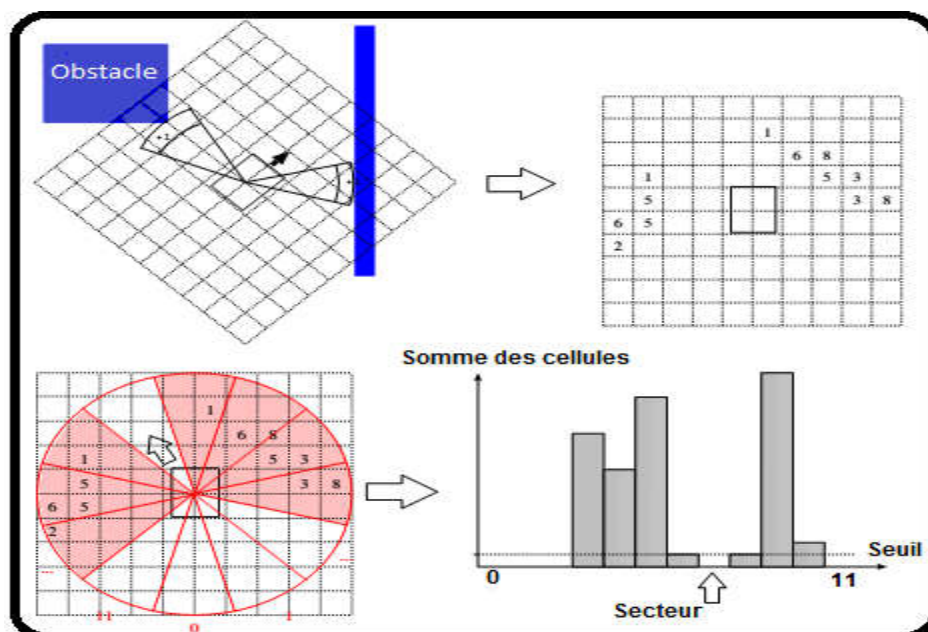


Figure III.2 : Partie Supérieure : Grille D'occupation Locale Construite Par La Méthode "Histogrammic In Motion Mapping". La Grille Est Construite Dans Le Référentiel Du Robot.

Partie Inférieure : Utilisation De L'histogramme Des Obstacles Pour Déterminer La Direction De Déplacement Du Robot.

Chapitre III proposition d'un contrôleur flou pour l'évitement d'obstacle

La méthode de la fenêtre dynamique permet de sélectionner une trajectoire locale du robot qui va éviter les obstacles et dont les variations dans le temps vont respecter des contraintes telles que les capacités de freinage maximales du robot. Pour appliquer l'algorithme, les trajectoires locales sont paramétrées et peuvent prendre des formes différentes en fonction des contraintes d'holonomie du robot par exemple. Une méthode simple applicable à de nombreuses plateformes est d'utiliser les vitesses de translation et de rotation du robot [26].

La méthode de la fenêtre dynamique permet donc, à partir de la perception locale de l'environnement, de sélectionner un couple (v, ω) de vitesses de translation et de rotation du robot qui répond à différentes contraintes, dont celle d'éviter les obstacles. Un tel couple de vitesses, lorsqu'il est appliqué au robot, produit une trajectoire circulaire, pour laquelle la satisfaction des différentes contraintes peut être évaluée. A l'issue de l'évaluation de toutes les contraintes pour tous les couples de vitesses possibles, la méthode de la fenêtre dynamique permet de sélectionner le couple le plus pertinent (qui répond le mieux aux contraintes).

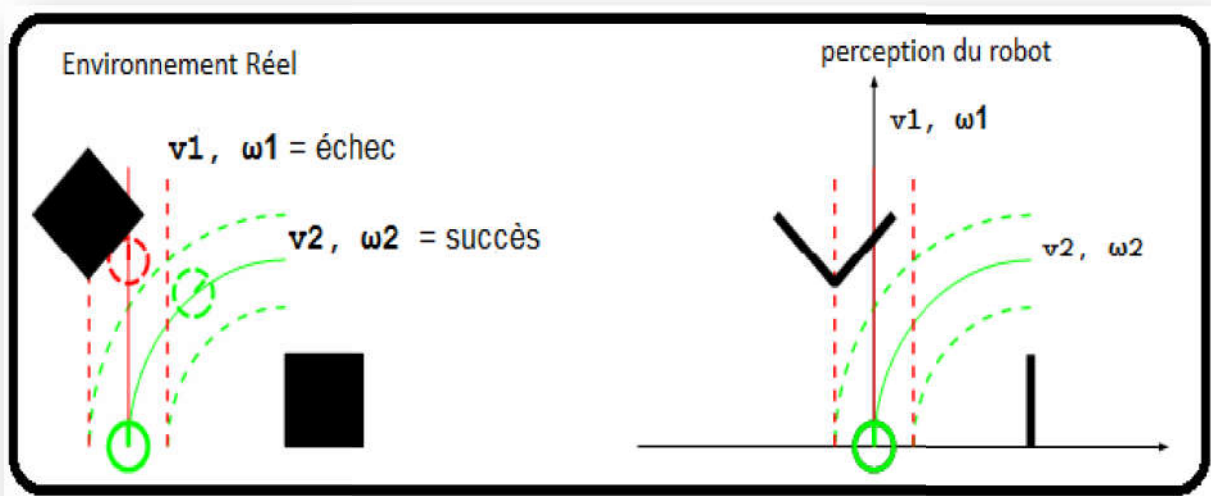


Figure III.3 : Contrainte d'évitement d'obstacles pour la méthode de la fenêtre dynamique.

La première contrainte est la contrainte d'évitement d'obstacles. C'est une contrainte dure au sens où elle est binaire (succès / échec) et doit obligatoirement être satisfaite. Elle est évaluée pour chacune des trajectoires possibles à partir de la perception locale de l'environnement à un instant donné et de la position estimée du robot à un pas de temps fixé dans le futur pour la trajectoire courante. Si le robot n'a pas rencontré d'obstacles à cet horizon, la contrainte est respectée; dans le cas contraire, elle ne l'est pas (Figure III.4) [27].

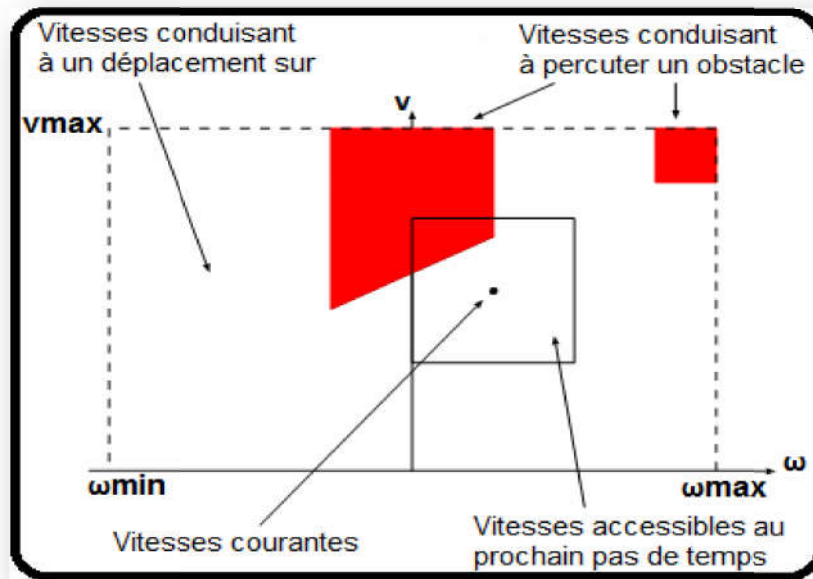


Figure III.4 : Fenêtre de sélection des vitesses tenant compte de la dynamique du robot.

III.3.2 Méthode de champ de potentiels

Dans la méthode d'évitement d'obstacles par champs de potentiels, on assimile le robot à une particule se déplaçant suivant les lignes de courant d'un potentiel créé en fonction de l'environnement perçu par le robot. Ce potentiel traduit différents objectifs tels que l'évitement d'obstacles ou une direction de déplacement préférée. Il est calculé par sommation de différentes primitives de potentiels traduisant chacun de ces objectifs (FigIII.5).

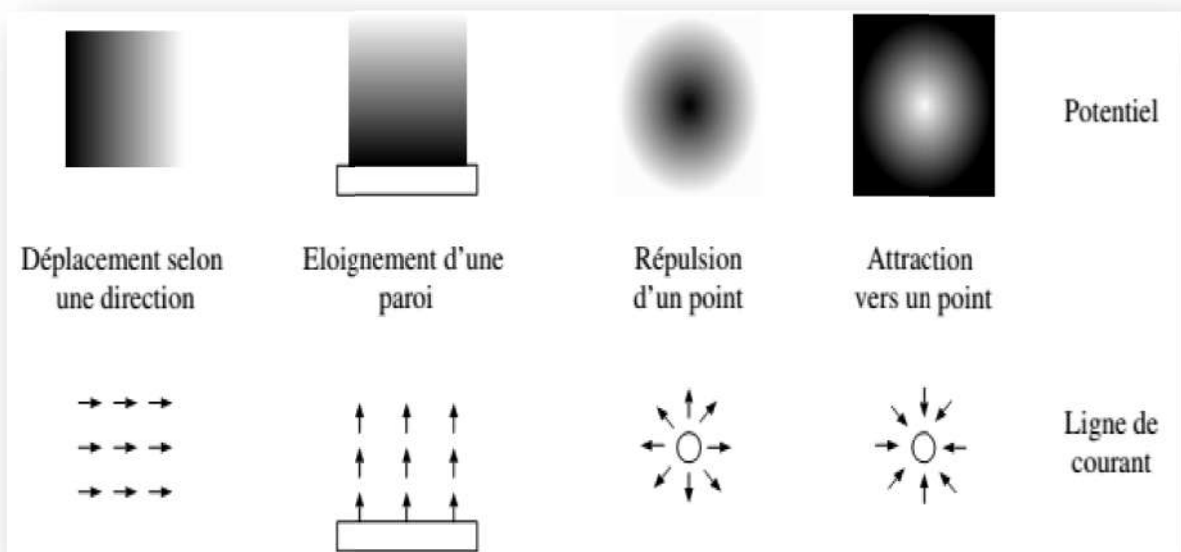


Figure III.5 : Illustration de potentiels primitifs dont la combinaison guide les déplacements du robot. Le robot se déplacera selon les lignes de courant.

Chapitre III proposition d'un contrôleur flou pour l'évitement d'obstacle

Ces différents potentiels peuvent avoir une étendue spatiale limitée ou non (par exemple, n'avoir une influence que près des obstacles) et leur intensité peut dépendre ou non de la distance.

Le gradient de ce potentiel donne, en chaque point de l'espace, la direction de déplacement du robot (Figure III.5). Comme c'est ce gradient, et non la valeur absolue du potentiel, qui nous intéresse, il est possible de calculer directement en chaque point sa valeur par une simple somme vectorielle en ajoutant les valeurs issues des différents potentiels primitifs. Ainsi, pour un robot se déplaçant en ligne droite en espace ouvert et évitant les obstacles qu'il peut rencontrer, nous obtenons par exemple les lignes de courant illustrées (figure III.6) [28].

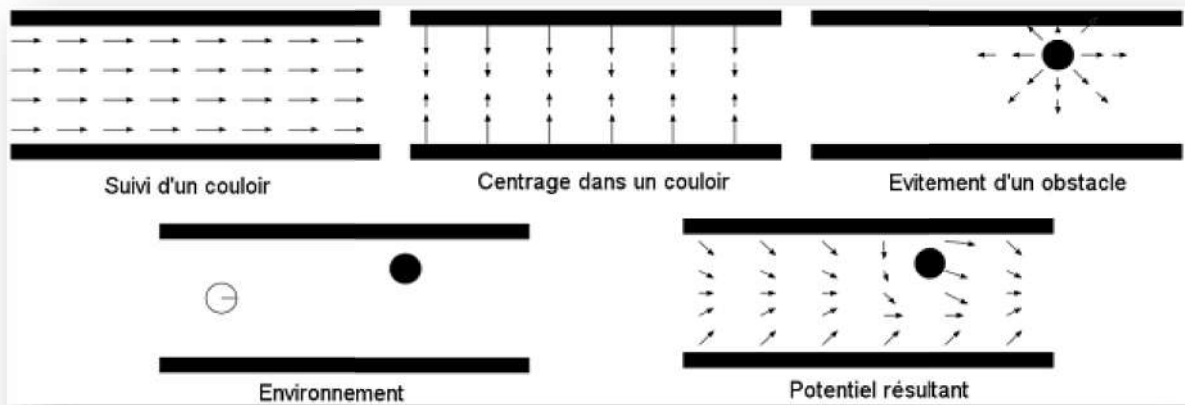


Figure III.6 : Illustration de la combinaison de différents potentiels primitifs.

III.3.2.1 Concepts de base de champ artificiels potentiels

FPA est principalement constitué de vecteurs de force, générés par les obstacles ou les cibles, qui peuvent être linéaires ou tangentiels et elles peuvent avoir des caractéristiques de répulsion, attractive ou aléatoire en fonction de l'état de l'agent par rapport à son environnement. Un exemple d'une fonction de champ de force potentiel est le suivant :

$$U = k \cdot \exp \left(\frac{x-x_0}{\alpha} + \frac{y-y_0}{\beta} \right) \quad (\text{III.1})$$

La direction de la force du champ de potentiel peut être trouvée en prenant son gradient [2] :

$$\frac{dU}{dx} = 2k \left(\frac{x-x_0}{\alpha} \right) \exp \left(\frac{x-x_0}{\alpha} + \frac{y-y_0}{\beta} \right) dx \quad (\text{III.2})$$

$$\frac{dU}{dy} = 2k \left(\frac{y-y_0}{\beta} \right) \exp \left(\frac{x-x_0}{\alpha} + \frac{y-y_0}{\beta} \right) dy \quad (\text{III.3})$$

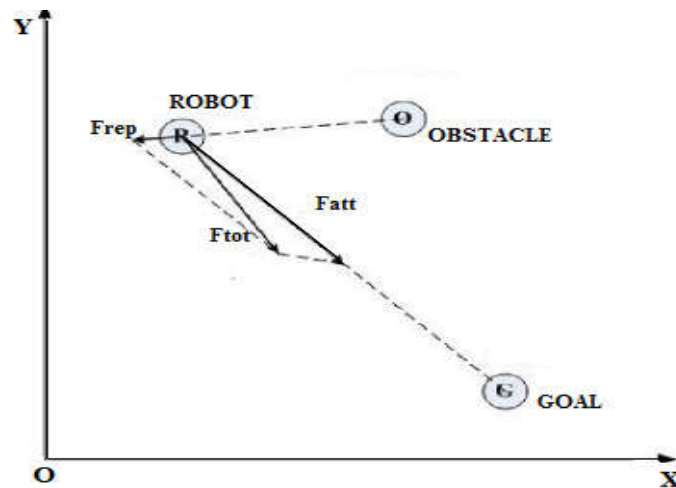


Figure III.7 : Présentation des forces de APF.

III.3.2.2 Développement de la méthode des champs de potentiel

L'utilisation des champs de potentiels a été développée principalement et indépendamment par [29] pour la modélisation de l'environnement immédiat du robot.

Le mouvement du robot dans le champ potentiel peut être interprété comme le mouvement d'une particule dans un champ de vecteur gradient généré par des particules électriques positives et négatives. Dans cette analogie, le robot est une charge positive, le but est une charge négative et les obstacles sont des ensembles de charges positives.

Les gradients dans ce contexte peuvent être interprétés comme des forces qui attirent le robot de particules chargées positivement à une particule négative qui agit comme le but. La combinaison de la force attractive vers l'objectif et les forces de répulsion des obstacles entraînent le robot dans une voie sûre vers le but.

Le robot suit le chemin le long de la pente négative de la fonction potentielle qui désigne le mouvement de descente vers le point le plus bas dans la vallée. Avec cette analogie, il est clair que le robot peut être piégé dans des minimas locaux loin de l'objectif.

Soit q représentant la position du robot, considérée comme une particule se déplaçant dans une dimension d'espace R^n . Par souci de simplicité de présentation examinons le problème appliqué à un robot point mobile dans un plan, c'est à dire,

$n = 2$ et que le robot est défini par $q = (x, y)$.

Le potentiel de champ artificiel où le robot se déplace est une fonction scalaire $U(q) : R^2 \rightarrow R$ généré par la superposition de potentiels attractifs et répulsifs.

$$U(q) = U_{att}(q) + U_{rep}(q)$$

Chapitre III proposition d'un contrôleur flou pour l'évitement d'obstacle

Le potentiel de répulsion est le résultat de la superposition des potentiels répulsifs générés par les obstacles, et ainsi () peut être écrite comme.

$$U(q) = U_{att}(q) + \sum_i U_{repi}(q) \quad (III.4)$$

$U_{repi}(q)$ Représente le potentiel répulsif généré par l'obstacle i .

Considérons maintenant que $U(q)$ est dérivable. A chaque q , la pente du champ de potentiel, notée $\nabla U(q)$, vecteur qui pointe dans la direction, augmente au maximum $U(q)$.

Concernant les champs de potentiel en fonction des méthodes de navigation du robot, le potentiel attractif est choisi pour être nul au but et à augmenter à mesure que le robot est loin du but et le potentiel répulsif, associé à chaque obstacle est très élevé (infini) dans le proche voisinage des obstacles et diminue lorsque la distance à l'obstacle diminue. Selon ces principes, différents potentiels attractifs peuvent être choisis. En outre, la force qui pousse le robot est le gradient négatif du potentiel artificiel [30], c.-à-d. : Avec $q = (x, y)$

$$F(q) = F_{att}(q) + F_{rep}(q) = -\nabla U_{att}(q) - \nabla U_{rep}(q) = \left(\frac{\partial U(x, y)}{\partial x} \quad \frac{\partial U(x, y)}{\partial y} \right)^T \quad (III.5)$$

La force $F(q)$ est un vecteur qui pointe dans la direction et à chaque q diminue localement au maximum U . Cette force peut être considérée comme le vecteur de la vitesse qui entraîne le robot.

III.3.3 Potentiel attractif

Le champ attractif peut être simplement défini sous la forme d'un parabolique :

$$U_{att}(q) = \frac{1}{2} \xi p_{goal}^2(q) \quad (III.6)$$

Avec ξ un scalaire positif et p_{goal} la distance euclidienne : $\|q - q_{goal}\|$.

La fonction $U_{att}(q)$ est donc positive ou nulle et atteint son minimum à q_{goal} où $U_{att}(q_{goal}) = 0$.

La force F_{att} est différentiable partout dans C et on a :

$$F_{att}(q) = -\nabla U_{att}(q) = -\xi p_{goal}(q) \nabla p_{goal}(q) = -\xi (q - q_{goal}) \quad (III.7)$$

Une autre forme de U_{att} peut être de type conique :

$$U_{att}(q) = \xi p_{goal}(q) \quad (III.8)$$

On aura alors une force de type :

$$F_{att}(q) = -\xi \nabla p_{goal}(q) = -\frac{(q - q_{goal})}{\|q - q_{goal}\|} \quad (III.9)$$

L'avantage de la forme canonique sur la parabolique, c'est que la force est constante sur l'espace : elle ne tend pas vers l'infini lorsqu'on s'éloigne de q_{goal} comme la parabolique.

Cependant, elle n'est pas nulle à q_{goal} .

La force F_{att} entraîne le robot vers l'objectif avec une vitesse qui diminue lorsque le robot approche du but. La force F_{att} représente une dépendance linéaire vers l'objectif, ce qui signifie qu'elle se développe tant que q s'éloigne de l'objectif et peut engendrer une vitesse rapide du robot chaque fois qu'il est loin de l'objectif. Dans ce cas, cette force impose qu'il s'approche rapidement de l'objectif avec une grande vitesse.

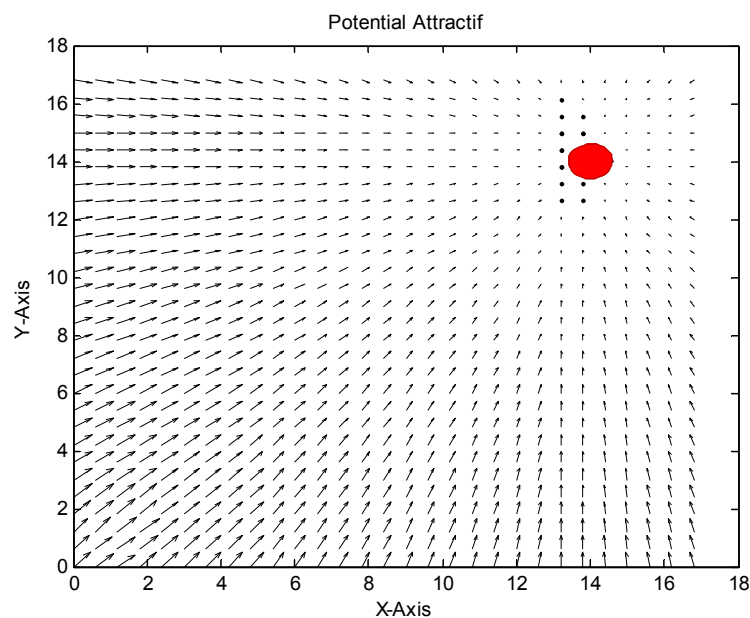


Figure III.8 : Présentation de potentiel attractif

III.3.4 Potentiel répulsif

Le potentiel répulsif doit servir à créer une barrière de potentiel autour des obstacles (autour de C-obstacles) qui ne peut être traversé par le robot. De plus, on ne veut pas que ce potentiel affecte le mouvement du robot lorsque celui-ci est suffisamment loin des obstacles.

Une des formes correspondant à ces objectifs est :

$$U_{rep}(q) = \begin{cases} \frac{1}{2} \eta (1/p(q) - 1/p_0) & \text{si } p(q) < p_0 \\ 0 & \text{si } p(q) > p_0 \end{cases} \quad (\text{III.10})$$

p_0 Est appelée la distance d'influence d'obstacles.

La fonction U_{rep} est positive ou nulle et tend vers l'infini lorsqu'on se rapproche de la frontière de C-obstacles. Ce potentiel de répulsion est plus fort lorsque le robot est plus proche de l'obstacle et a une basse influence lorsque le robot est loin. On a alors :

$$F_{rep}(q) = -\nabla U_{rep}(q) \quad (\text{III.11})$$

$$F_{rep}(q) = \begin{cases} \eta (1/p(q) - 1/p_0) 1/p^2(q) \nabla p(q) & \text{si } p(q) < p_0 \\ 0 & \text{si } p(q) > p_0 \end{cases}$$

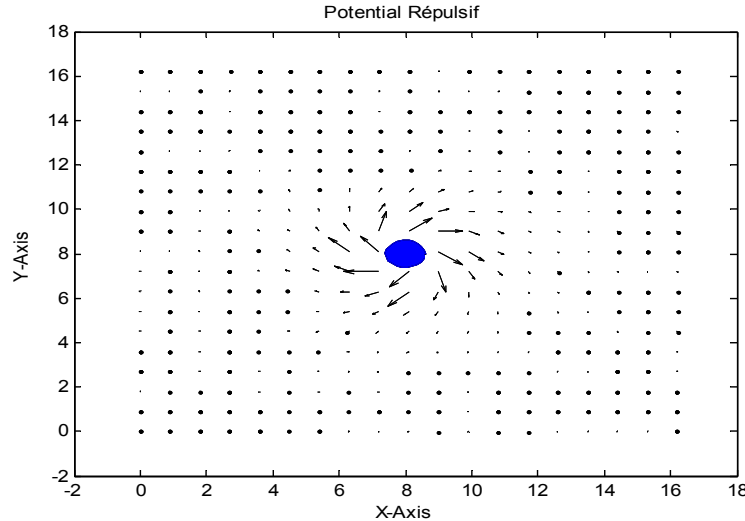


Figure III.9 : Présentation de potentiel répulsif

III.4 Planification de trajectoires guidées par champs potentiels

Une fois définis les potentiels, plusieurs techniques sont possibles [31]. Les deux plus courantes sont, pour des espaces de configuration à faibles dimensions.

La technique la plus utilisée pour la planification de trajectoire d'un robot mobile c'est la technique de descente de gradients.

La descente de gradients

L'algorithme du gradient désigne un algorithme d'optimisation différentiable. Il est par conséquent destiné à minimiser une fonction réelle différentiable définie sur un espace euclidien ou, plus généralement, sur un espace hilbertien (de dimension infinie). L'algorithme est itératif et procède donc par améliorations successives. Au point courant, un déplacement est effectué dans la direction opposée au gradient, de manière à faire décroître la fonction. Le déplacement le long de cette direction est déterminé par la technique numérique connue sous le nom de recherche linéaire

Pour la planification de trajectoire La descente de gradient consiste simplement à suivre la direction indiquée par la force F , et à avancer dans cette direction d'un pas de longueur ζ . Par exemple, avec $q = (x, y)$, on aura :

$$\begin{cases} x(q_{i+1}) = x(q_i) + \delta_i \partial U(x, y) / \partial x \\ y(q_{i+1}) = y(q_i) + \delta_i \partial U(x, y) / \partial y \end{cases} \quad (\text{III.12})$$

L'algorithme s'arrêtera lorsqu'on sera à une distance de q_{goal} inférieure à ζ , dans le cas où un chemin est déterminé. L'inconvénient de cette méthode est que l'on peut tomber sur un minimum local. Le critère d'arrêt sera :

- Soit que la distance entre la position q_{goal} et q_{robot} soit inférieure au pas delta.
- Soit un nombre d'itérations maximal très grand.

Une autre approche, pour calculer la trajectoire de robot mobile, tenant compte la cinématique du robot .une configuration q est définie par le triplet (x, y, φ) , (x, y) étant la position du robot. φ est l'orientation du robot.

A l'instant (t+1) :

$$\begin{aligned} x(t+1) &= x(t) + \dot{x} \\ y(t+1) &= y(t) + \dot{y} \\ \varphi(t+1) &= \varphi(t) + \dot{\varphi} \end{aligned} \quad (\text{III.13})$$

Tel que $\dot{q} = v \cdot t$

v est le vecteur de vitesse.

$\theta = \arctg(v_x, v_y)$, θ est l'angle de braquage

$$v_x = F_x = \frac{\partial U(x,y)}{\partial x} \tag{III.14}$$

$$v_y = F_y = \frac{\partial U(x,y)}{\partial y}$$

Donc la force calculée en chaque point permet de trouver une vitesse de référence à imposer au robot [32]. Cette méthode proposée pour planifier une trajectoire implique la binarisation de l'environnement, en appliquant un seuillage sur l'image pour localiser l'espace blanc de l'espace noir.

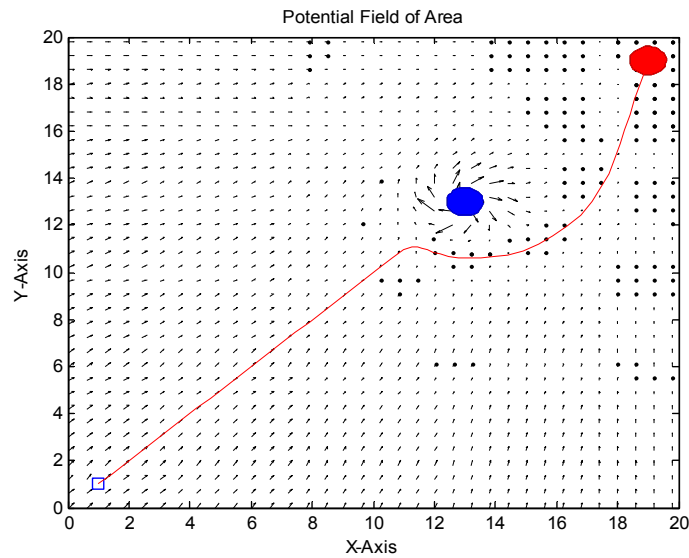


Figure III.10: Planification de trajectoire d'un robot mobile par la technique AFP (faisant varier la coefficient de répulsion)

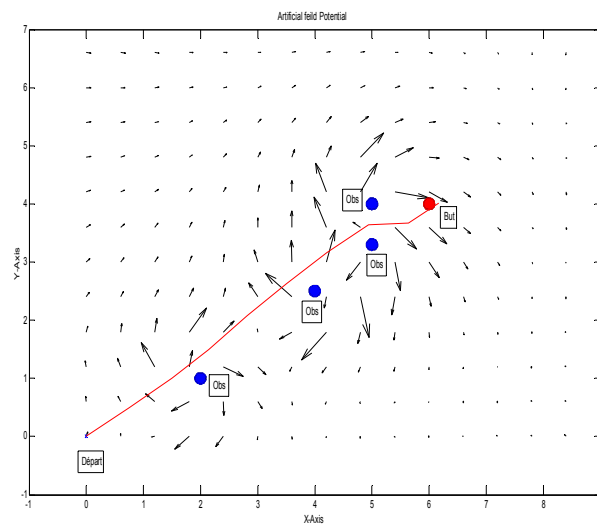


Figure III.11: Planification de trajectoire d'un robot mobile par la technique AFP (cas de présence 4 obstacles).

La figure 6 présente la trajectoire d'un robot mobile, en cas de présence d'un seul obstacle,

La figure 7 présente la trajectoire d'un robot mobile en cas de présence de plusieurs obstacles, on remarque que le robot mobile dirige vers le but de telle sorte qu'il évite les obstacles.

III.5 Comportement de navigation basé sur la logique floue

La stratégie de navigation de base est réactive, combinant trois comportements de base afin d'assurer la navigation autonome du robot : la navigation libre, l'évitement d'obstacles fixes et le rapprochement du but. Cette subdivision a pour objectif de faciliter et d'assurer au mieux la navigation autonome du robot.

La figure 5.2 présente la structure de base du système de navigation composée d'un module de détection d'obstacles, d'un contrôleur flou de navigation libre et d'un contrôleur flou d'évitement d'obstacles. Cette structure permet de déterminer en temps réel l'angle de braquage à assigner au robot pour lui permettre de naviguer dans un environnement structuré et parsemé d'obstacles.

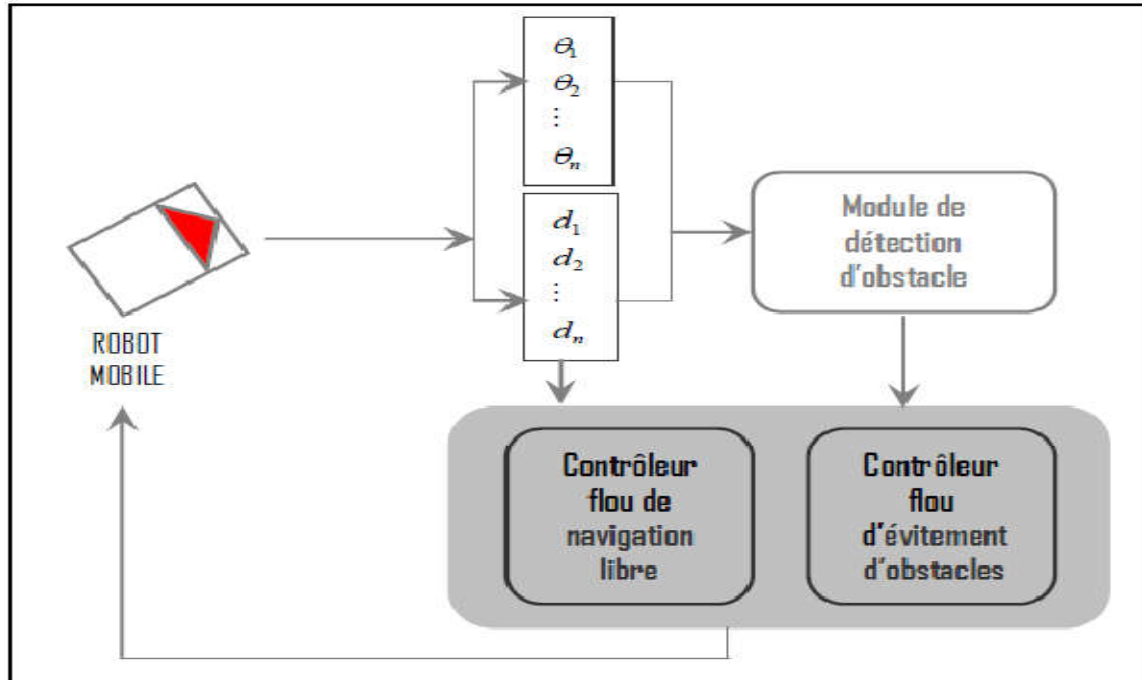


Figure III.12 : Structure de base du système de navigation proposé

III.5.1 Module de détection d'obstacles

Le robot utilise des capteurs pour observer autour de lui. Nous avons limité le champ global de perception du robot à $\pi / 2$. Le champ global de perception est décomposé en trois secteurs de détection. Chaque secteur comporte un capteur ultrason pour obtenir une plus grande précision relative à la position des obstacles par rapport à notre robot et pour rapprocher le comportement et les capacités de notre robot à ceux de cas réel. Les secteurs de détection sont :

Latéral _ Négatif : champs latéral négatif du robot ;

Dans _ Avant : champs avant du robot ;

Latéral _ positif : champs latéral positif.

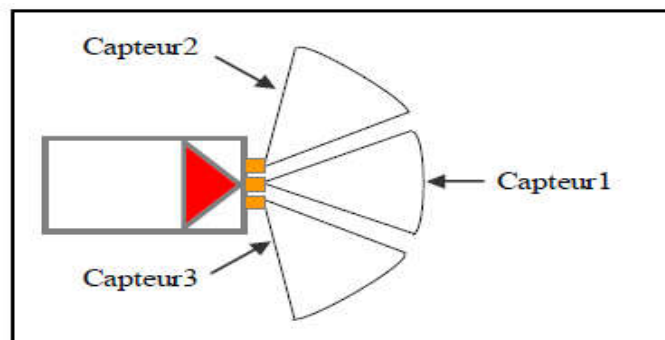


Figure III.13 : Secteurs de détection du robot.

Le robot récupère les informations relatives à l'état actuel de l'environnement (θ l'angle entre l'axe portant le point obstacle et le centre de repère et l'axe du robot), puis il réalise un balayage de façon continue afin déterminer en temps réel les obstacles détectés dans les différents champs de perception qui sont latéral _ Négatif , Dans _ Avant et Latéral _ Positif.

III.5.2 Comportement de navigation libre

Si le robot ne reçoit aucune information de ses capteurs au cours de son déplacement alors il considère que le chemin est libre, c'est-à-dire aucune présence d'obstacle; donc dans cette situation il se dirige vers la cible. Nous avons choisi un contrôleur de type Mamdani dont la conclusion est un ensemble flou. Ce type de contrôleur est généralement le plus utilisé dans ce type de problème. Ce modèle présente l'avantage d'être facilement interprétable et bien adapté à notre application. Il reçoit comme entrées θ' l'angle entre la cible et le robot et renvoie en sortie la commande φ qui correspond au changement de direction du robot (l'angle de braquage). La figure 5.4 représente la structure du contrôleur de navigation libre.

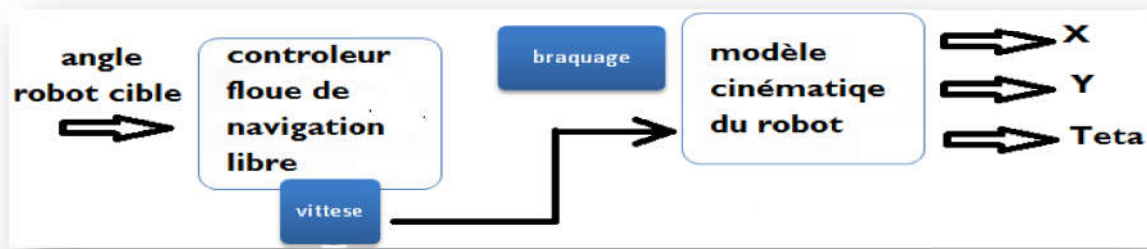


Figure III.14 : Structure du contrôleur de navigation libre

III.5.3 Comportement d'évitement d'obstacles

Pour éviter les obstacles, nous avons développé un système de contrôle réactif en utilisant la logique floue. Notre système d'évitement d'obstacles met en œuvre une stratégie de contrôle intelligente réactive en ce sens que l'environnement immédiat réagit (avec l'aide du raisonnement approximatif) au cours de données sensorielles. Par exemple, si le robot est à proximité immédiate d'un obstacle devant lui, le contrôleur flou permet de déterminer une nouvelle direction à suivre en temps réel afin d'éviter la collision avec l'obstacle. Le robot sera alors immédiatement régi en fonction de la directive émise par le contrôleur flou. Ces comportements réactifs permettent au robot mobile d'éviter les obstacles statiques de l'environnement, sans exiger de modèles prédéfinis. L'existence d'un but nous permet de nous concentrer pleinement sur deux comportements fondamentaux : l'évitement des collisions et le rapprochement du but.

Ce contrôleur travaille en adaptant en étroite collaboration avec les capteurs afin de détecter et d'éviter les obstacles, en adaptant la trajectoire à la situation actuelle. Ce comportement est plus complexe par rapport à la navigation libre (dans la zone critique). Il reçoit comme entrées la distance entre le robot et l'obstacle dans les différentes perceptions et renvoie en sortie la commande φ qui correspond au changement de direction du robot (l'angle de braquage).

La figure (III.15) montre la structure du contrôleur d'évitement d'obstacle.

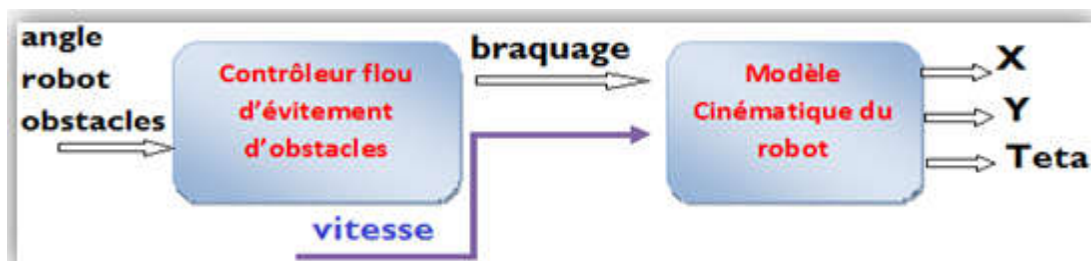


Figure III.15 : Structure du contrôleur d'évitement d'obstacle.

III.6 Contrôle flou

III.6.1 Contrôle flou réactif d'un robot mobile de mouvement dans un environnement inconnu avec obstacles

III.6.1.1 Stratégie de navigation réactive de motion Collision-Free dans un environnement inconnu avec obstacles

Dans cette section, la commande floue est appliquée à la navigation du robot mobile autonome dans un environnement inconnu avec un obstacle [33] [34].

Nous avons supposé que le robot mobile autonome dispose de deux roues motrices indépendamment et groupes de des capteurs à ultrasons pour détecter des obstacles à l'avant, à droite et à gauche de véhicule. Les stratégies réactives sont basées sur l'information sensorielle à ultrasons et seules les interactions relatives entre le robot mobile et de l'environnement inconnu doivent être évaluées. Dans ce cas, une modélisation structurale de l'environnement est nécessaire.

Lorsque le véhicule se déplace vers la cible et les capteurs détectent un obstacle, une stratégie d'évitement soit nécessaire. Alors que le robot mobile est en mouvement, il est important à faire des compromis entre éviter les obstacles et de se déplacer vers la cible position. Avec des obstacles présents dans l'environnement inconnu, le robot mobile réagit sur la base à la fois de l'information obtenue des obstacles et le relatif la position de la cible (fig.III.16). [35]

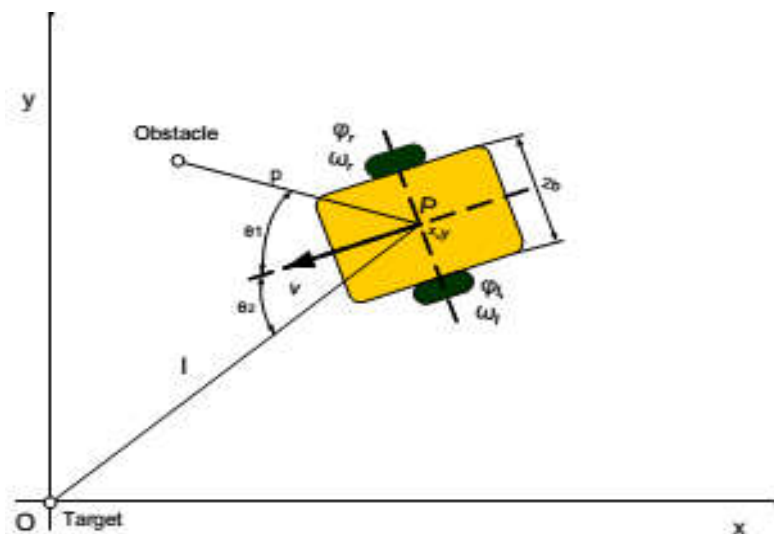


Figure III.16 : Définition de l'angle d'obstacle θ_1 et distance de l'obstacle p .

Chapitre III proposition d'un contrôleur flou pour l'évitement d'obstacle

En se déplaçant vers la cible et en évitant les obstacles, le robot mobile change son orientation et la vitesse. Lorsque l'obstacle dans un environnement inconnu est très proche, le robot mobile ralentit et change rapidement son orientation. La stratégie de navigation à venir au plus près de la position cible que possible, tout en évitant une collision avec les obstacles dans un environnement inconnu. L'intelligence d'un robot mobile réactif est formulé dans des règles floues.

III.6.2 Implémentation floue d'évitement d'obstacles

Logique floue basée sur le contrôle est appliqué pour réaliser un mouvement de robot mobile dans un environnement inconnu avec des obstacles.. Les entrées du contrôleur flou sont:

- les distances d'obstacles p ,
- L'orientation d'obstacle θ_1 (qui est l'angle entre la direction du robot mobile et la ligne reliant le centre du robot avec un obstacle).
- les distances cibles l ,
- l'orientation θ_2 cible (qui est l'angle entre le robot mobile direction et la ligne reliant le centre du robot avec la cible).

La Sortie du régulateur floue est la différence de vitesse angulaire entre la roue gauche et droite (correction de vitesse angulaire de la roue) du véhicule: $\Delta\omega = \omega_r - \omega_L$. le bloc diagramme du système d'inférence floue est présenté dans la figure (III.17).

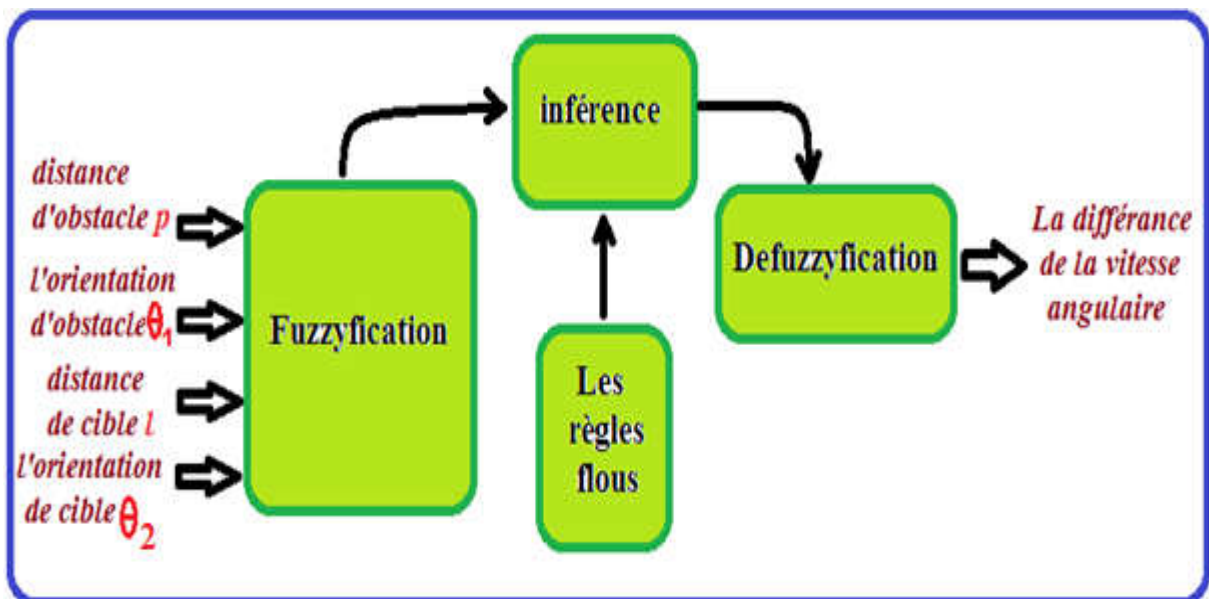


Figure III.17 : Schéma du système d'inférence floue.

Chapitre III proposition d'un contrôleur flou pour l'évitement d'obstacle

L'orientation de l'obstacle θ_1 et L'orientation de la cible θ_2 sont déterminés par (l'obstacle / position cible), et la position du robot dans un système de coordonnées, respectivement. Le θ_1 et θ_2 sont définis comme positif lorsque (l'obstacle / cible) est situé à la direction droite de déplacement du robot ; sinon, le θ_1 et θ_2 sont négatifs [33]. Pour le contrôleur flou proposé, les variables d'entrée pour les distances d'obstacles p sont simplement exprimées à l'aide de deux étiquettes linguistiques près et de loin ($p \in [0, 3 \text{ m}]$).

➤ Exemple de contrôle d'un robot mobile :

La base de règles pour la réaction floue de robot mobile sont:

R1: si θ_2 est à droite, puis : $\Delta\omega$ est tourner à droite

R2: si θ_2 reste ,alors : $\Delta\omega$ est tour-gauche

R3: Si p est proche et l est loin et θ_1 est à gauche, puis : $\Delta\omega$ est tourner à droite

R4: Si p est proche et l est loin et θ_1 est à droite, puis : $\Delta\omega$ est Tourner à gauche

R5: si θ_2 est direction de la cible, alors : $\Delta\omega$ est nul

R6: Si p est loin et θ_2 est direction de la cible ,alors : $\Delta\omega$ est nul

Dans la mise en œuvre actuelle du contrôleur flou le Centre de la méthode de la région défuzzification est utilisé.

III.4 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons parlé sur l'évitement d'obstacle d'un robot mobile, qui basé sur de plusieurs techniques comme "champs de potentiels et contrôleur floue" sans oublier « la fenêtre dynamique ».

Nous nous sommes concentrés sur la technique de champs de potentiels « Potentiel attractif, Potentiel répulsif », pour la planification d'une trajectoire d'un robot mobile.

On a touché aussi le contrôle floue et le comportement de navigation libre et aussi le comportement d'évitement d'obstacles.

Chapitre IV

Exemples et résultats de simulation

IV.1 Introduction

Dans ce chapitre on va proposer un contrôleur flou pour l'évitement d'obstacle par un robot mobile, doit on a basé sur un résonnement flou, les résultats de simulation prouver l'influence de cette stratégie sur la navigation de notre robot mobile.

Dans ce qui suit nous allons décrire brièvement la structure de base de notre contrôleur flou qui comporte trois parties : la fuzzification, l'inférence et la défuzzification.

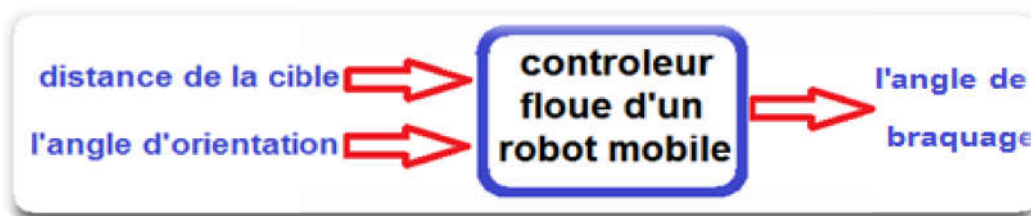


Figure IV.1 : structure de contrôleur flou pour l'évitement d'obstacle.

IV.2 Structure de base de notre contrôleur flou

IV.2.1 Fuzzification

Les valeurs délivrées par les capteurs du robot sont traduites en labels de sous ensemble flous caractérisant les variables linguistiques associées.

IV.2.1.1 Fuzzification de la variable angle robot _ cible

La variable d'entrée, l'angle entre le robot et la cible θ' , possède cinq variables floues (NG : Négatif Grand ; NP : Négatif Petit ; Z : Zéro ; PP : Positif Petit ; PG : Positif Grand) définies comme suit :

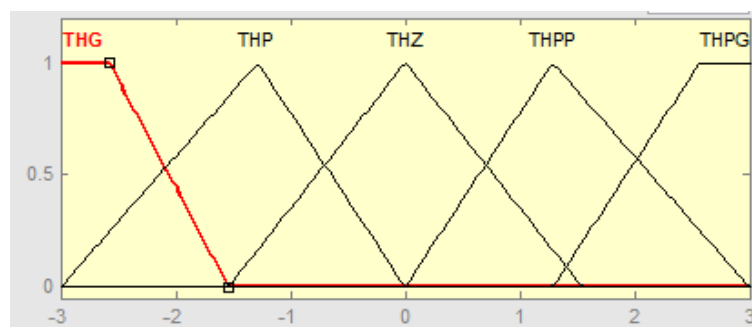


Figure IV.2 : Fonction d'appartenance de l'angle robot _ cible

IV.2.1.2 Fuzzification de la variable angle de braquage

La variable de sortie qui est l'angle de braquage φ possède cinq variables floues (NG : Négatif Grand ; NP : Négatif Petit ; Z : Zéro ; PP : Positif Petit ; PG : Positif Grand) définies comme suit :

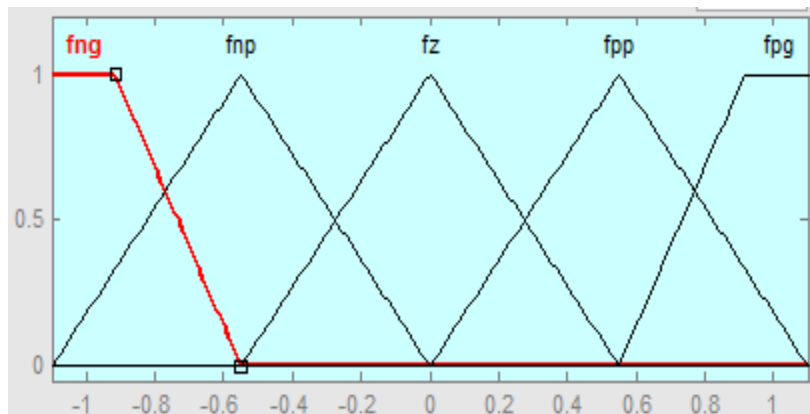


Figure IV.3 : Fonction d'appartenance de l'angle de braquage.

IV.2.1.3 Inférence

Un contrôleur flou prend généralement la forme d'une série de règles « Si- alors ». L'inférence est basée sur des opérations min et max afin d'effectuer l'inférence des règles représentées dans le (tableau IV.1) et l'opérateur max pour l'agrégation des règles. La réalisation de la navigation libre est réalisée par un ensemble de règles floues de la forme :

Si θ' est NG alors φ est NG

Si θ' est PG alors φ est PG

Si θ' est zéro alors φ est zéro

θ'	NG	NP	Zéro	PP	PG
φ	NG	NP	Zéro	PP	PG

Tableau IV.1 : Les règles d'inférence de la navigation libre.

IV.2.1.4 Défuzzification

La méthode de defuzzification la plus utilisée est celle de la détermination du centre de gravité de la fonction d'appartenance résultante. Cette méthode est la plus utilisée car elle est caractérisée par un simple calcul très rapide.

IV.2.1.5 Résultats expérimentaux

Nous présentons ici quelques exemples d'expérimentations réalisées. L'environnement est une salle carrée. Le robot est un rectangle qui se déplace selon le modèle cinématique mentionné dans le chapitre deux. La cible est représentée comme un drapeau dont les coordonnées sont prédéfinies. Plusieurs formes d'obstacles peuvent être simulées à partir d'une forme cylindrique de base.

Nous avons utilisé l'environnement Matlab-Simulink qui est un environnement de travail complet, puissant et performant.

Après la spécification du point but, dans le cas où le robot est initialement orienté vers sa destination, le robot effectue une pure translation à partir de sa position initiale. Les figures IV.4 et IV.5 illustrent ces déplacements quel que soit la position du robot et de la cible.

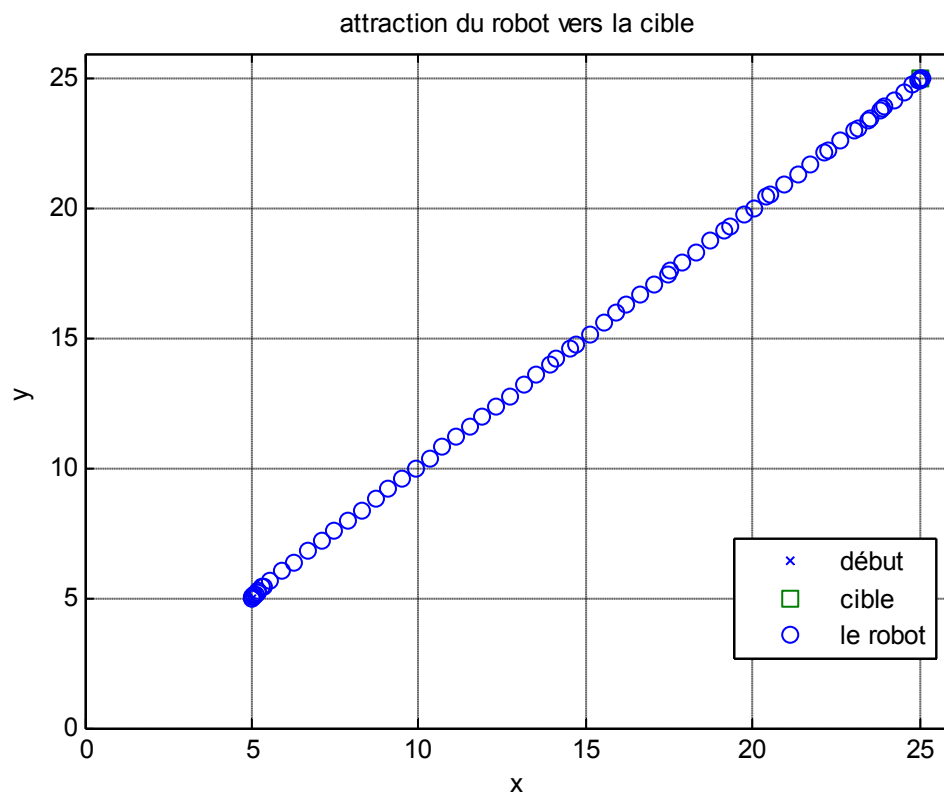


Figure IV.4 : a) Navigation libre avec la cible devant le robot avec $\theta_0 = \pi/4$.

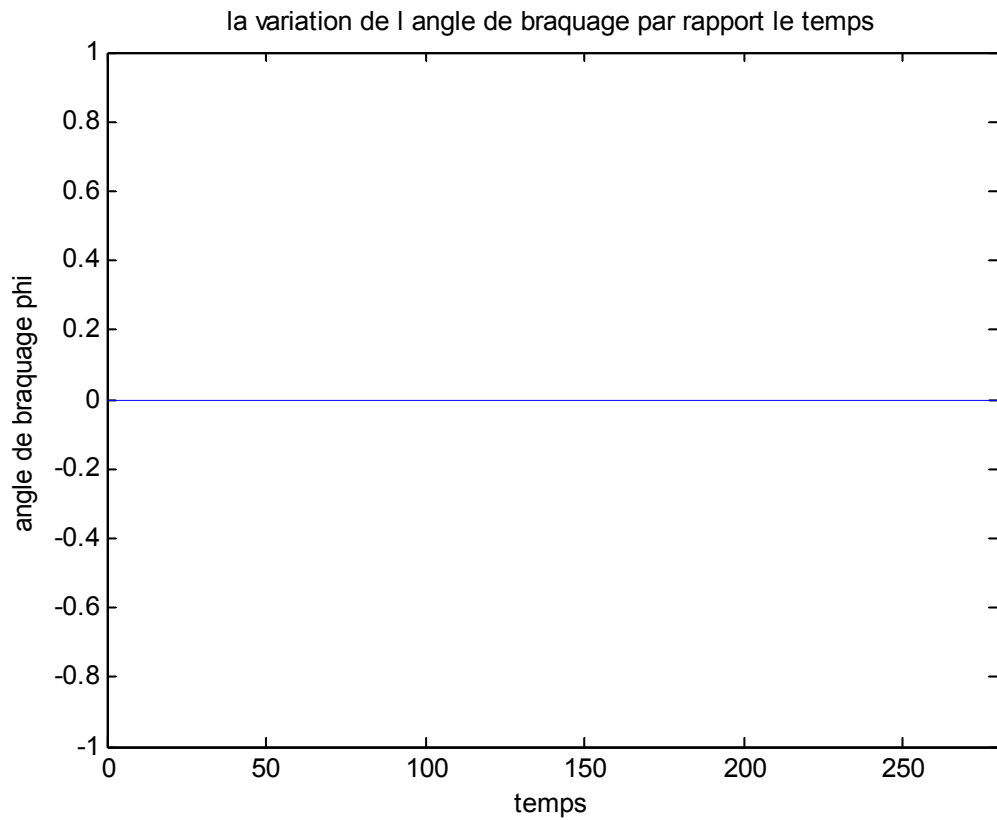


Figure IV.4 : b) Variation de l'angle de braquage du robot par rapport au temps.

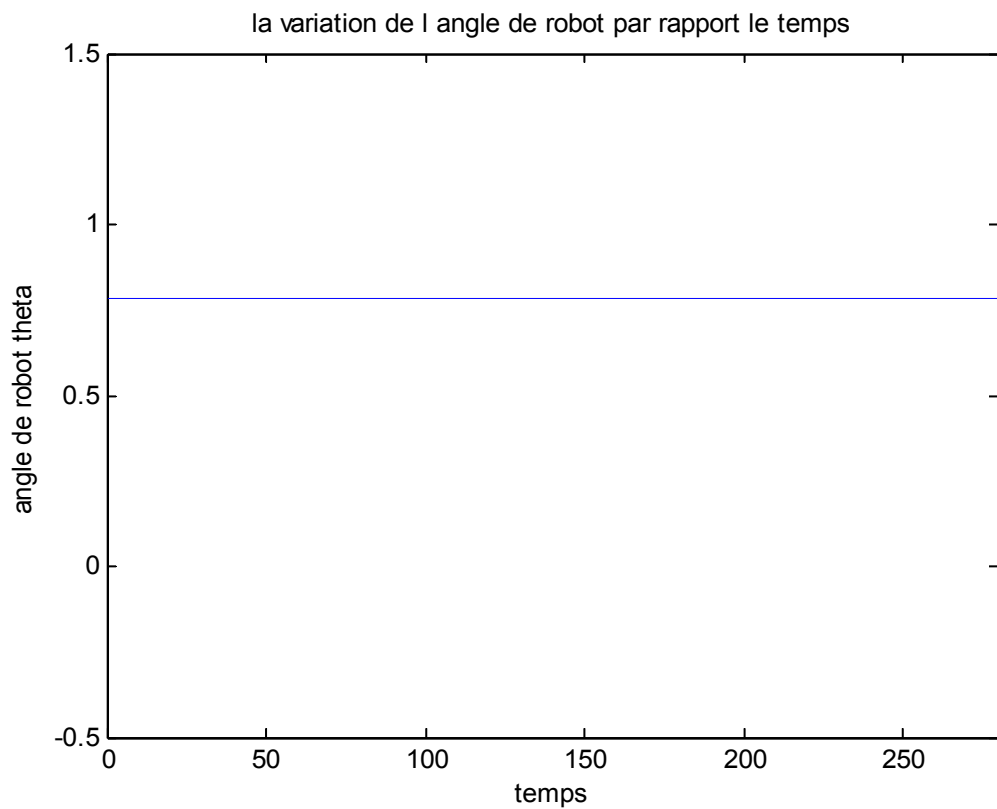


Figure IV.4 : c) Variation de l'angle du robot par rapport au temps.

En cas d'absence d'obstacles et si la cible est en face du robot, la trajectoire décrite lors du déplacement de notre robot mobile peut être classée dans la catégorie de trajectoire rectiligne comme le montrent les figures IV.4-a et IV.5-a.

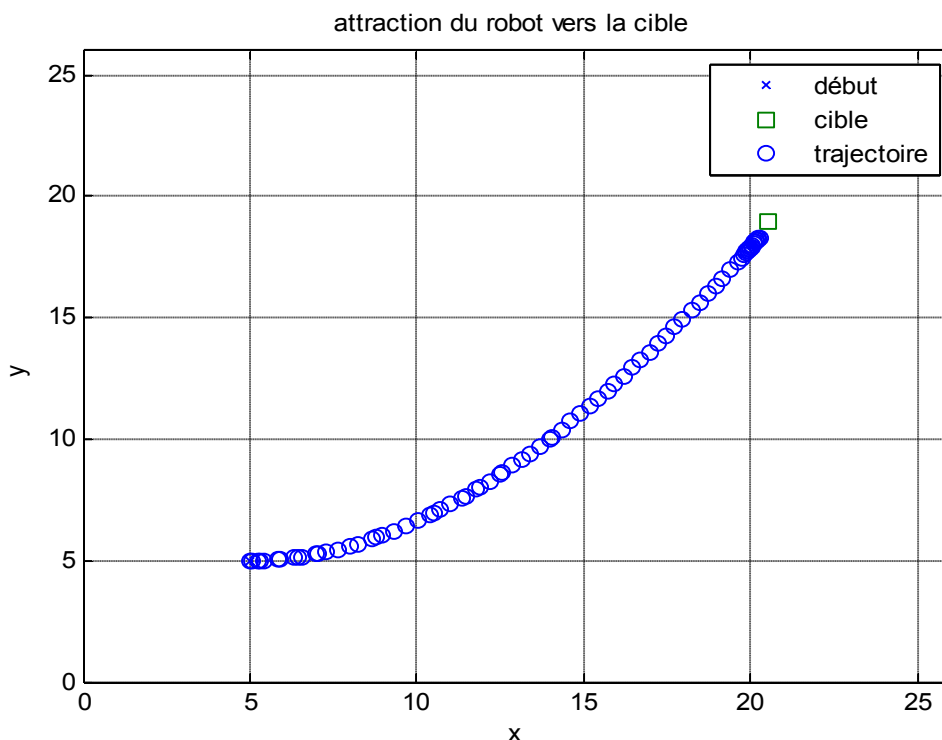


Figure IV.5 : a) Navigation libre avec la cible avant le robot avec $\theta_0 = 0$.

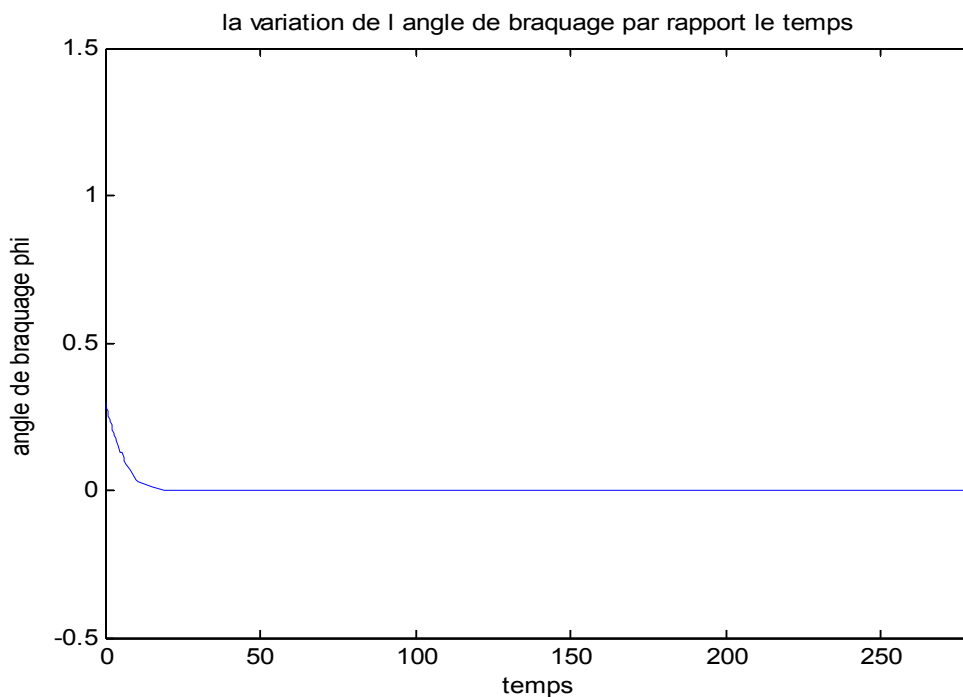


Figure IV.5 : b) Variation de l'angle de braquage du robot par rapport au temps.

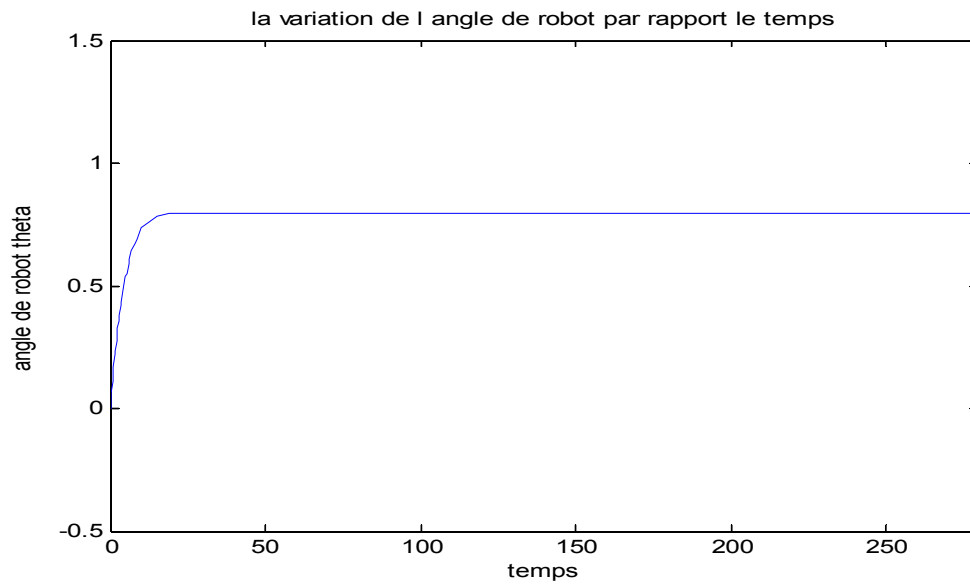


Figure IV.5 : c) Variation de l'angle du robot par rapport au temps.

Les figures IV.5-b et IV.5-c présentent respectivement la variation de l'angle du robot par rapport au temps et la variation de l'angle de braquage du robot par rapport au temps.

Dans le cas où le robot est orienté dans une direction autre que celle du point d'arrivée, le robot commence à se déplacer en ligne droite avec un braquage permettant de corriger son orientation. Une fois le robot mobile orienté correctement, il reprendra l'étape précédente. Les figures IV.6 et IV.7 représentent le cas d'un robot mobile dont l'orientation initiale est différente de celle de sa destination.

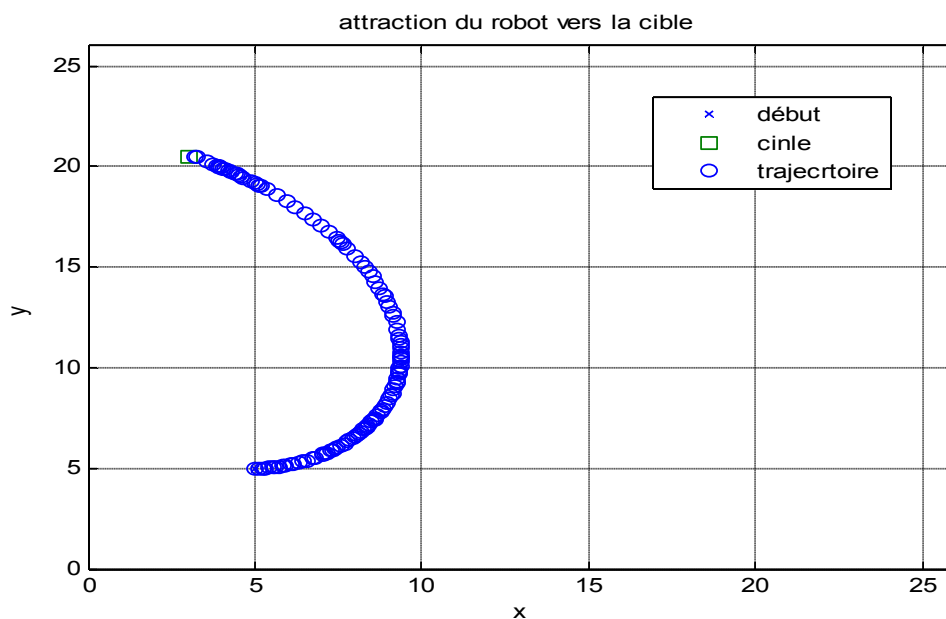


Figure IV.6 : a) Navigation libre avec la cible derrière le robot avec $\theta_0 = 0$.

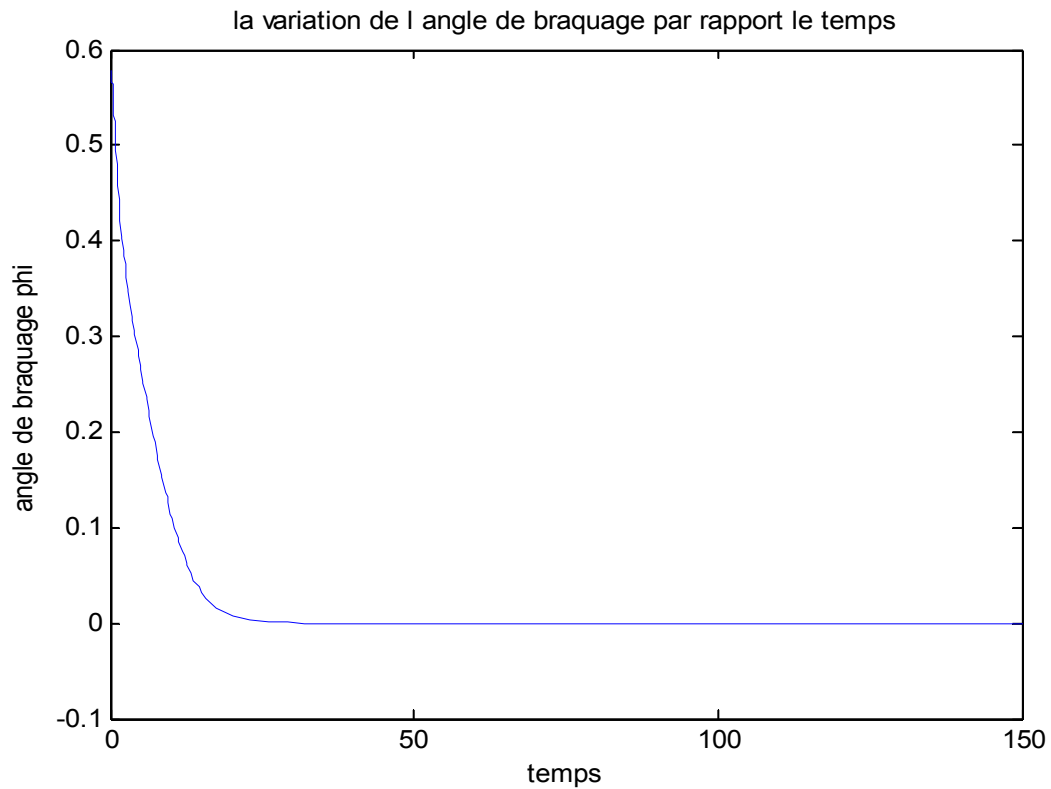


Figure IV.6 : b) Variation de l'angle de braquage du robot par rapport au temps.

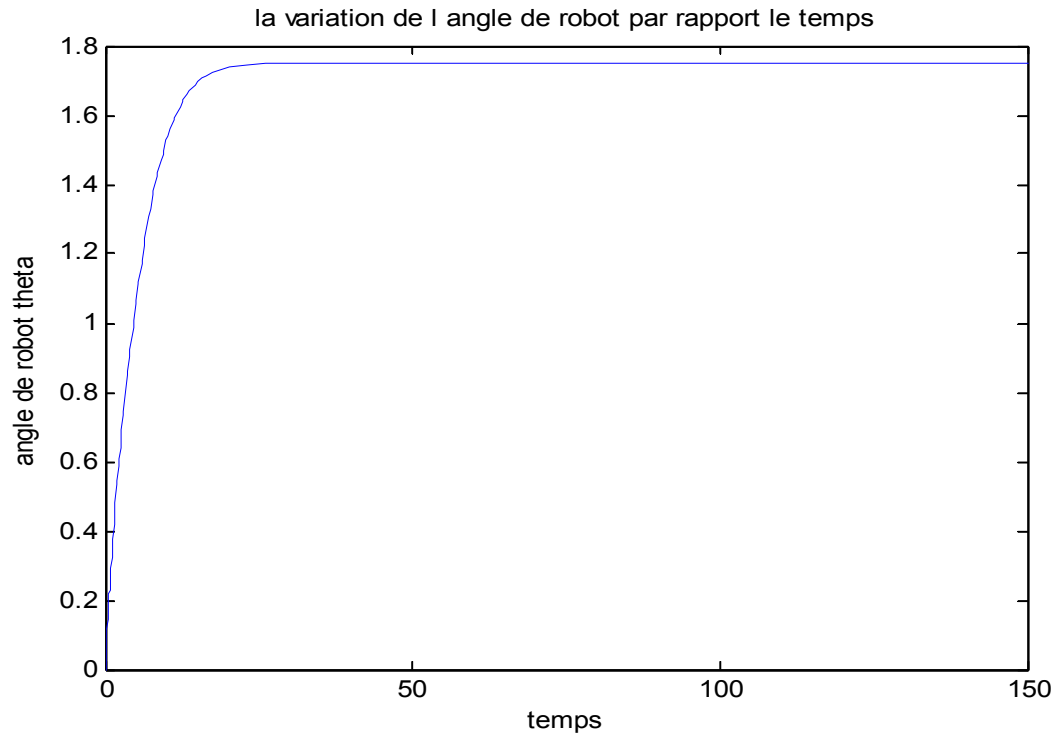


Figure IV.6 : c) Variation de l'angle du robot par rapport au temps.

Un cas de navigation libre avec la cible derrière le robot est présenté sur la figure IV.7.

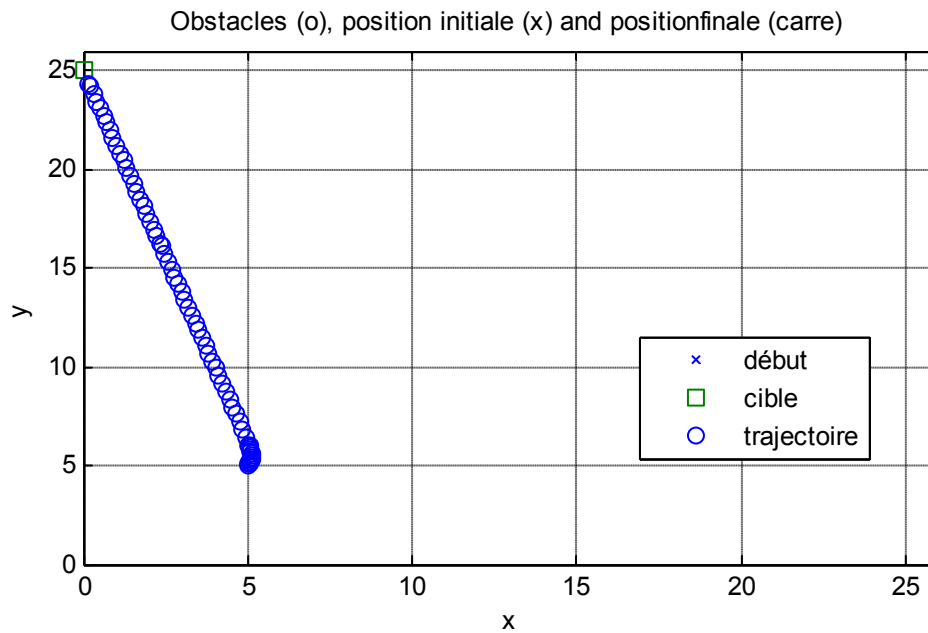


Figure IV.7 : Navigation libre avec la cible derrière le robot.

IV.3 Comportement d'évitement d'obstacles

IV.3.1 Fuzzification

IV.3.1.1 Fuzzification des variables d'entrées

La fonction d'appartenance des variables d'entrées (Latéral _ Négatif, Dans _ Avant et Latéral _ Positif) sont exprimées par trois ensembles flous qui sont : pas d'obstacle, prêt et loin. Ces variables sont représentées sur la figure IV.8.

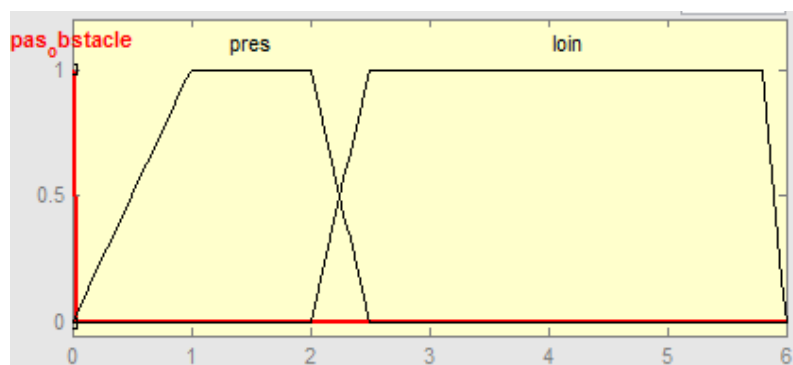


Figure IV.8 : Fonction d'appartenance des variables d'entrées.

IV.3.1.2 Fuzzification de la variable de sortie

La variable de sortie qui est l'angle de braquage φ possède cinq variables floues (NG : Négatif Grand, NP : Négatif Petit, Z : Zéro, PP : Positif Petit, PG : Positif Grand) définies comme suit :

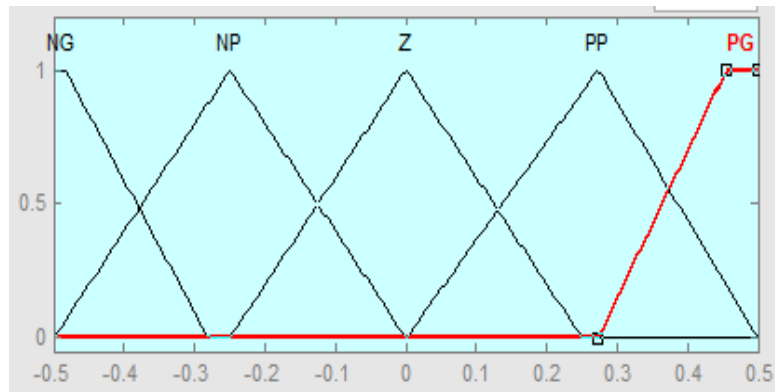


Figure IV.9 : Fonction d'appartenance de l'angle de braquage.

IV.3.1.3 Inférence

Le tableau VI.2 regroupe la série des règles d'inférence floues.

Latéral _ Négatif	Dans _ Avant	Latéral _ Positif	φ
Pas _ Obstacle	Pas _ Obstacle	Prés	NG
		Loin	Z
	Prés	Pas _ Obstacle	NG/PG
		Prés	NG
		Loin	NG
	Loin	Pas _ Obstacle	NP/PP
		Prés	NP
		Loin	NP
	Prés	Pas _ Obstacle	Pas _ Obstacle
Prés			Z
Loin			Z
Prés		Pas _ Obstacle	PG
Loin		Pas _ Obstacle	PP
Loin	Pas _ Obstacle	Pas _ Obstacle	Z
		Prés	Z
		Loin	Z
	Prés	Pas _ Obstacle	PG
	Loin	Pas _ Obstacle	PP

Tableau IV.2 : Les règles d'inférence floue d'évitement d'obstacles.

IV.3.1.4 Defuzzification

La méthode de défuzzification la plus utilisée est celle de la détermination du centre de gravité de la fonction d'appartenance résultante. Elle est caractérisée par un simple calcul et un temps de calcul court donc, elle est la plus utilisée.

IV.3.1.5 Résultats expérimentaux

Si le robot rencontre un obstacle imprévu, celui-ci est détecté par l'intermédiaire d'un module de détection d'obstacles ; le robot doit réagir en temps réel c'est-à-dire exécuter une action de contournement autour de l'obstacle détecté. Les figures ci-dessous montrent quelques cas de notre système de navigation avec évitement d'obstacles.

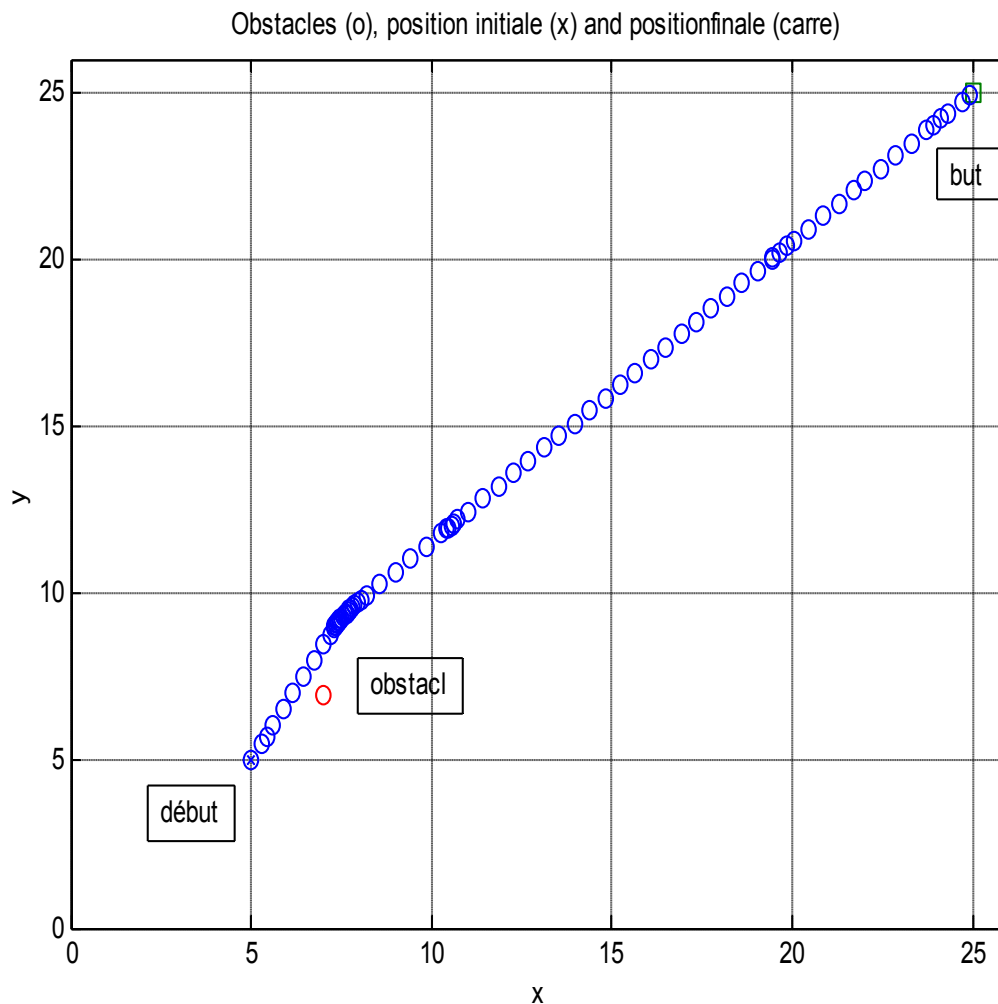


Figure IV.10 : a) Navigation avec évitement d'un seul obstacle.

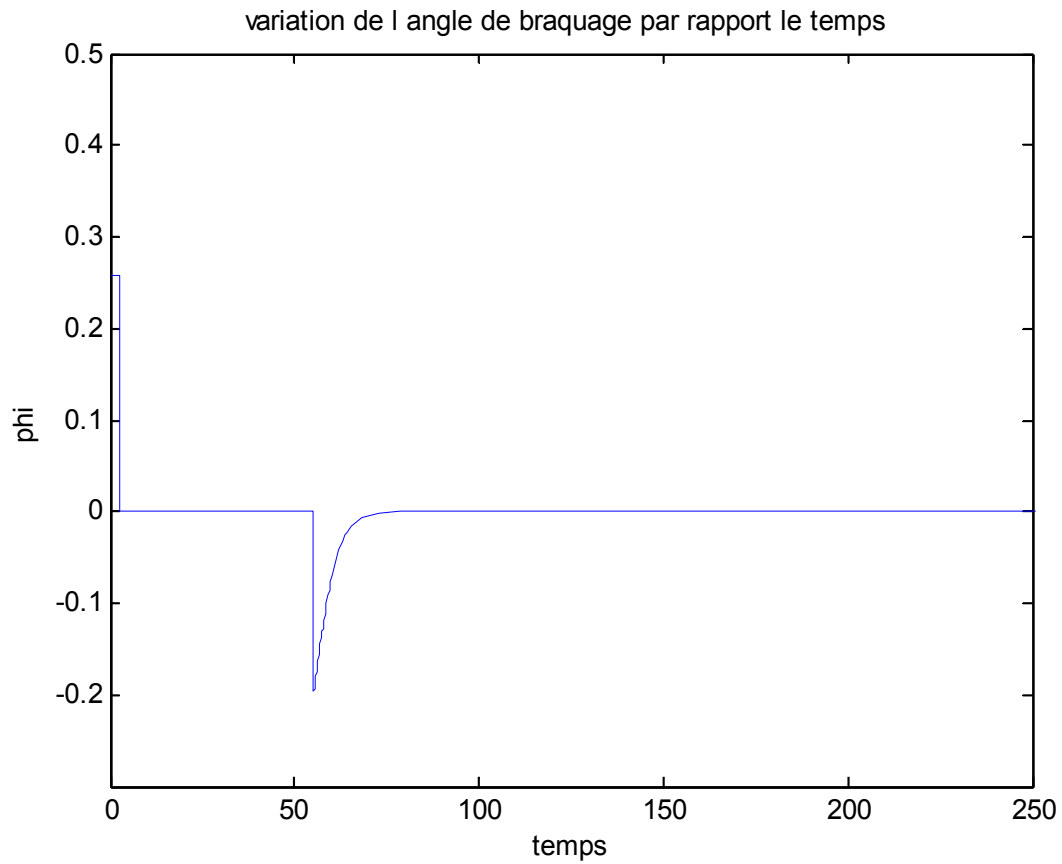


Figure IV.10: b) Variation de l'angle de braquage du robot.

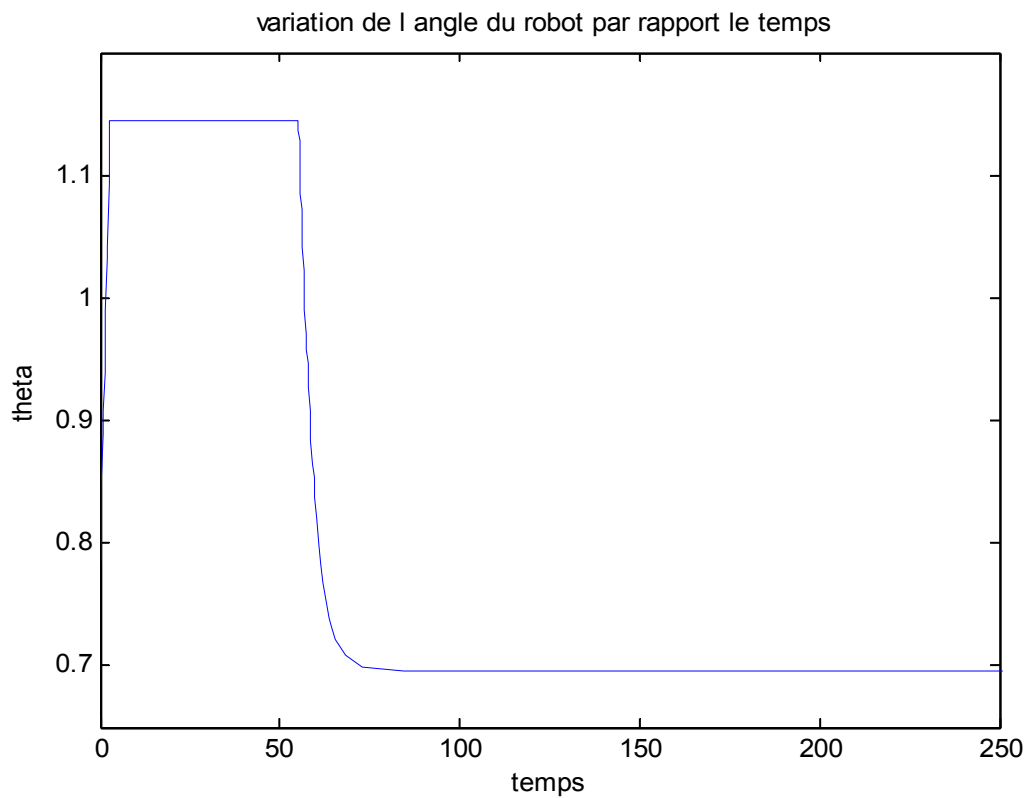


Figure IV.10 : c) Variation de l'angle du robot.

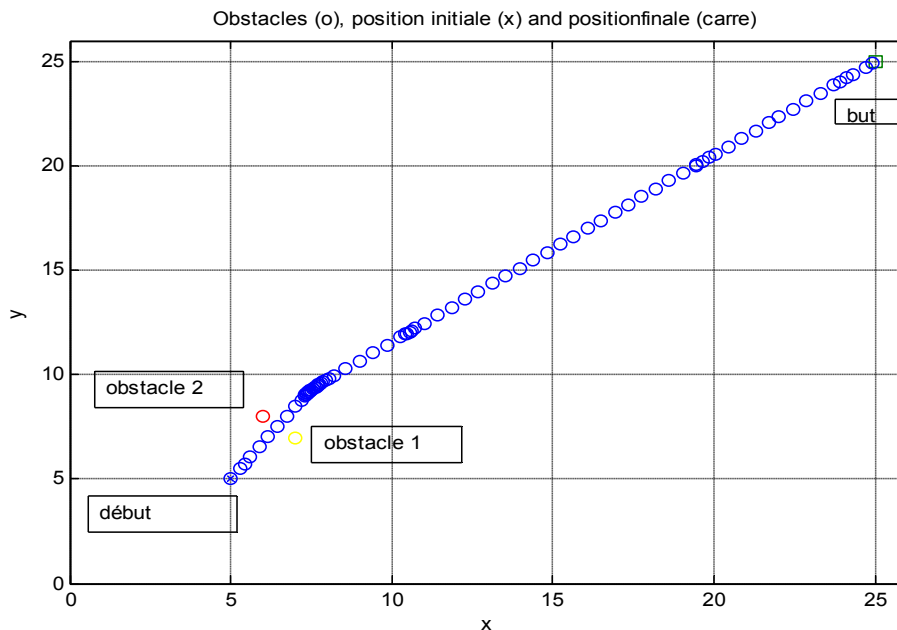


Figure IV.11 : a) Navigation avec évitement de deux obstacles.

Dans le premier cas de test présenté à la figure 4.10a et 4.11-a, un simple environnement avec un nombre réduit de petits obstacles a été testé. Le robot utilise l'angle de braquage afin d'éviter l'obstacle ou les deux obstacles, ensuite il se déplace selon des trajectoires plus ou moins rectilignes vers le but. a l'approche de la cible, le robot ralentit et s'immobilise.

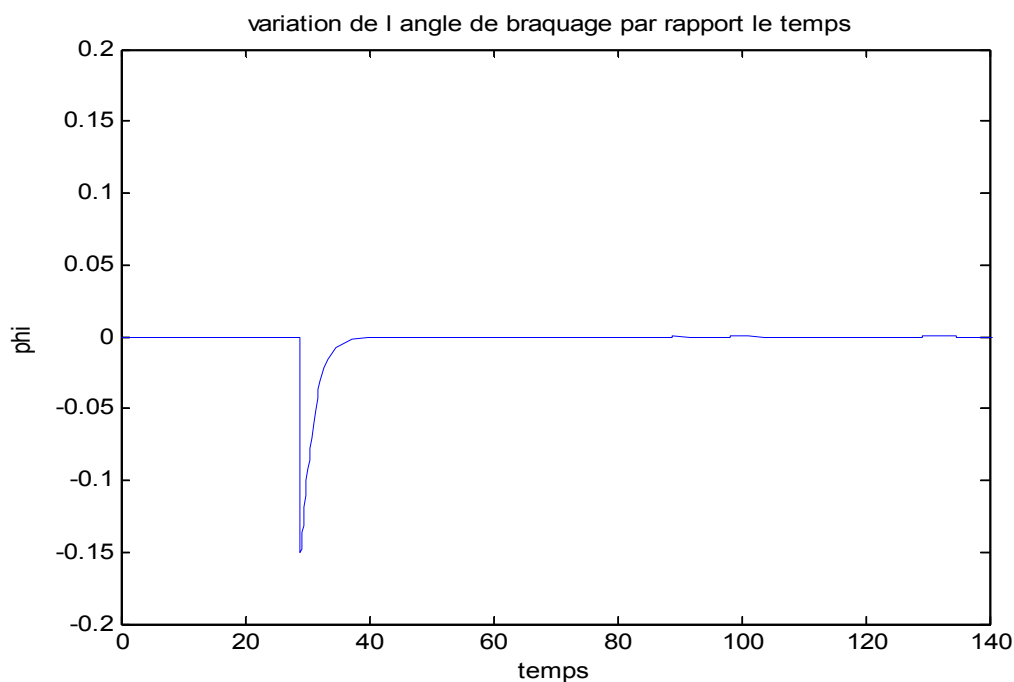


Figure IV.11 : b) La variation de l'angle de braquage du robot.

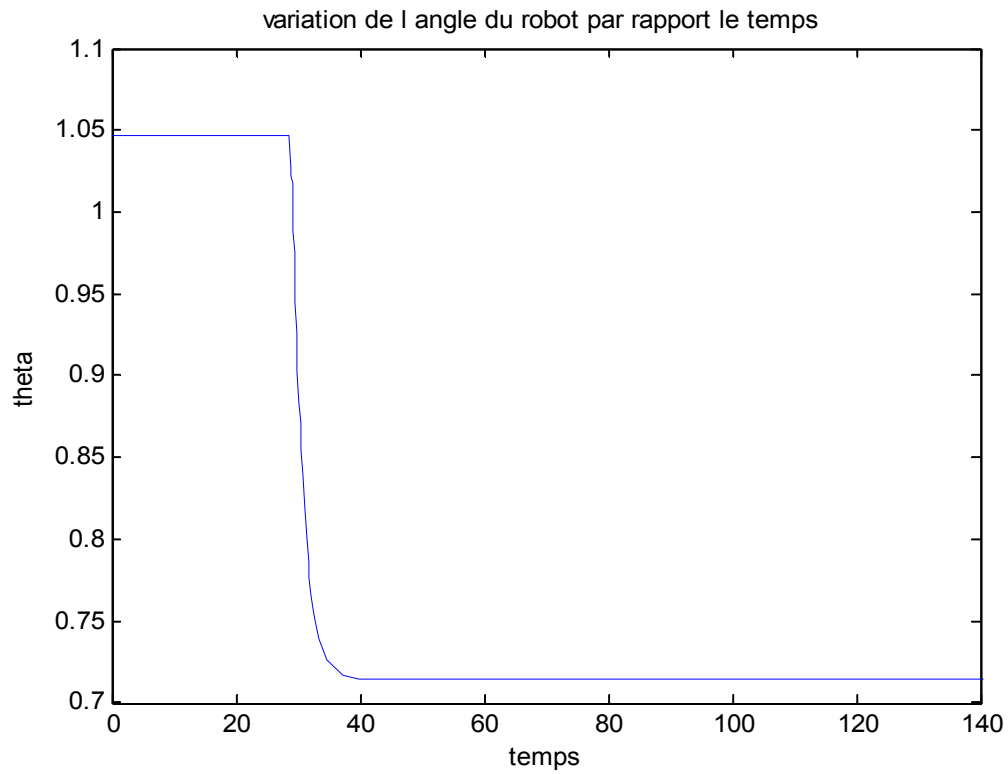


Figure IV.11 : c) La variation de l'angle du robot.

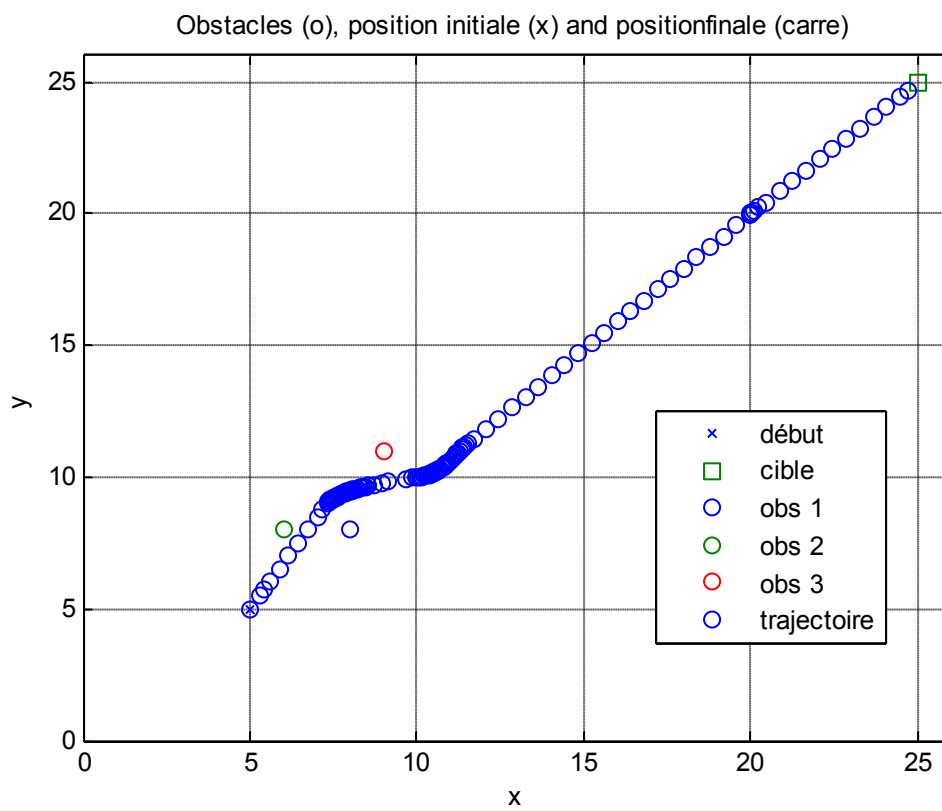


Figure IV.12 : a) Navigation avec évitement de trois obstacles.

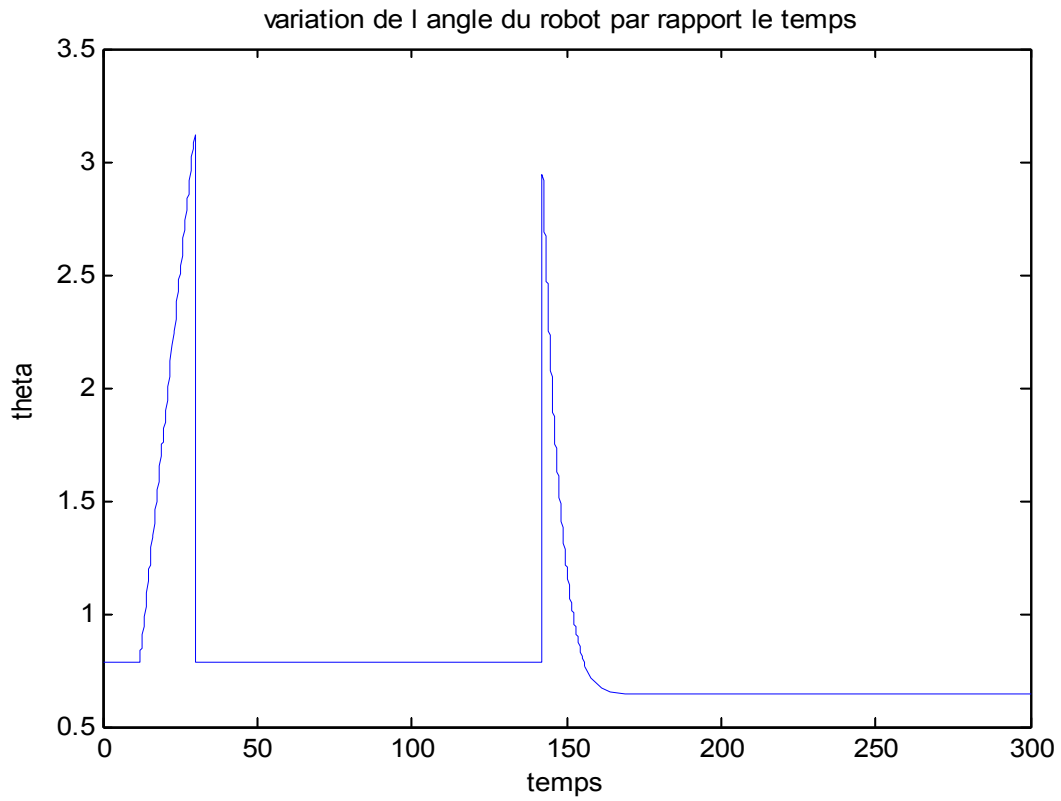


Figure IV.12 : b) Variation de l'angle du robot.

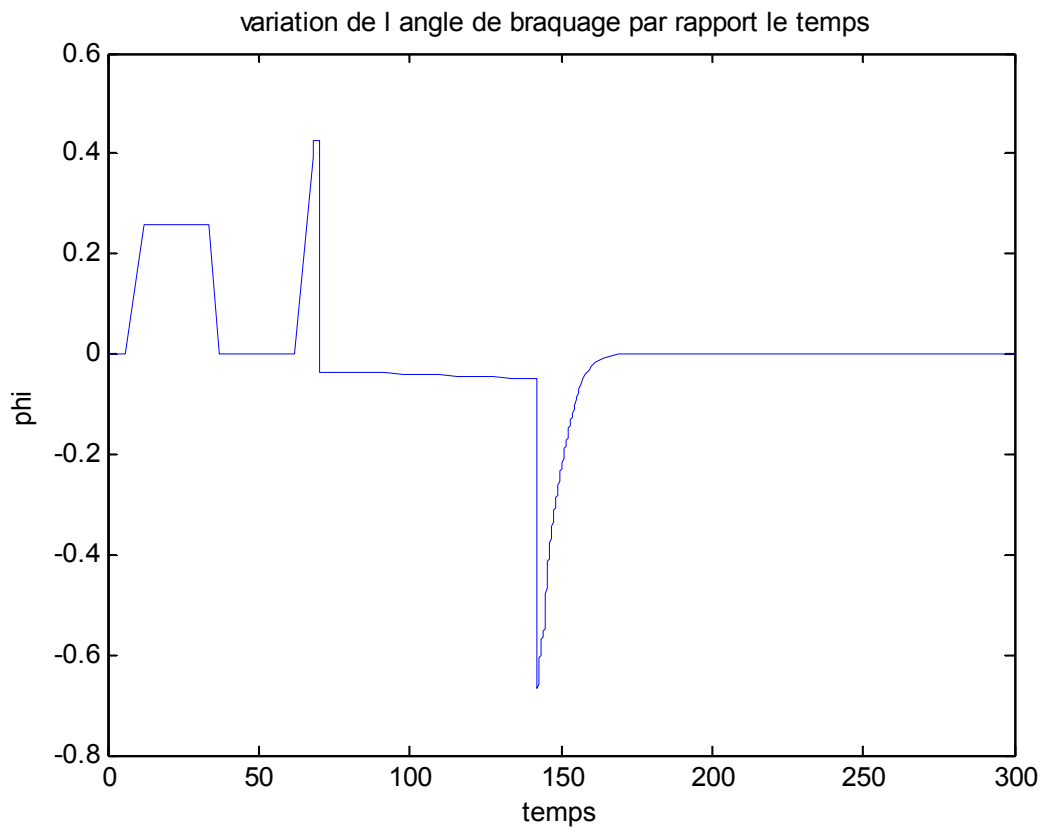


Figure IV.12 : c) Variation de l'angle de braquage du robot.

Dans le deuxième cas de test présenté sur les figures IV.12-a, IV.13 et IV.14-a, de simples environnements avec présence de trois obstacles ont été testés. Le robot utilise toujours l'angle de braquage afin d'éviter les obstacles, ensuite il se déplace selon des courbes vers le but assigné. Il ralentit et s'immobilise à l'approche de la cible.

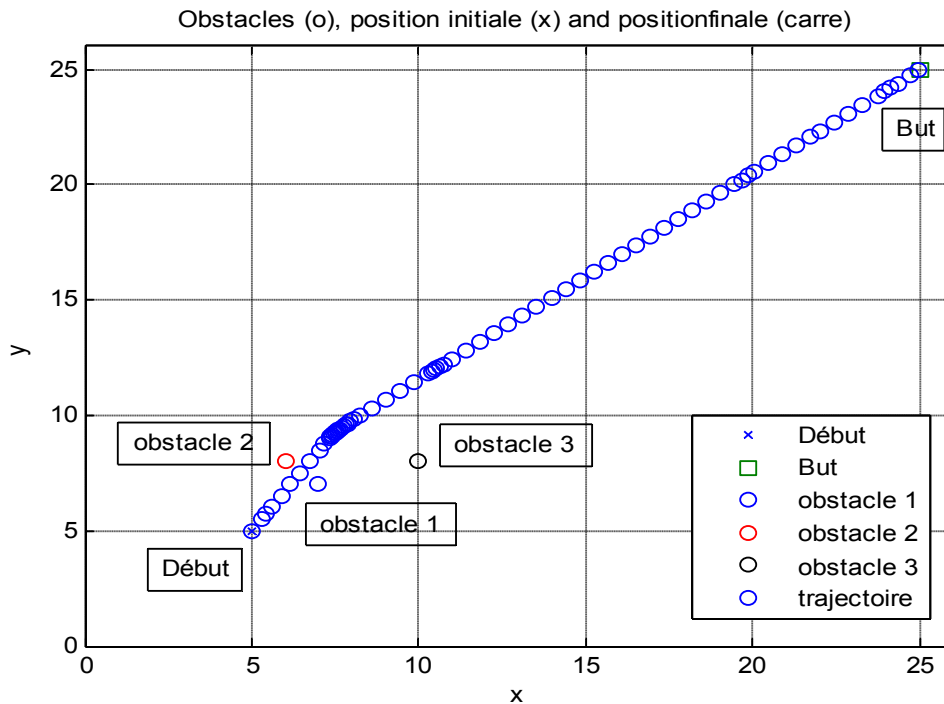


Figure IV.13 : Navigation avec évitement de trois obstacles.

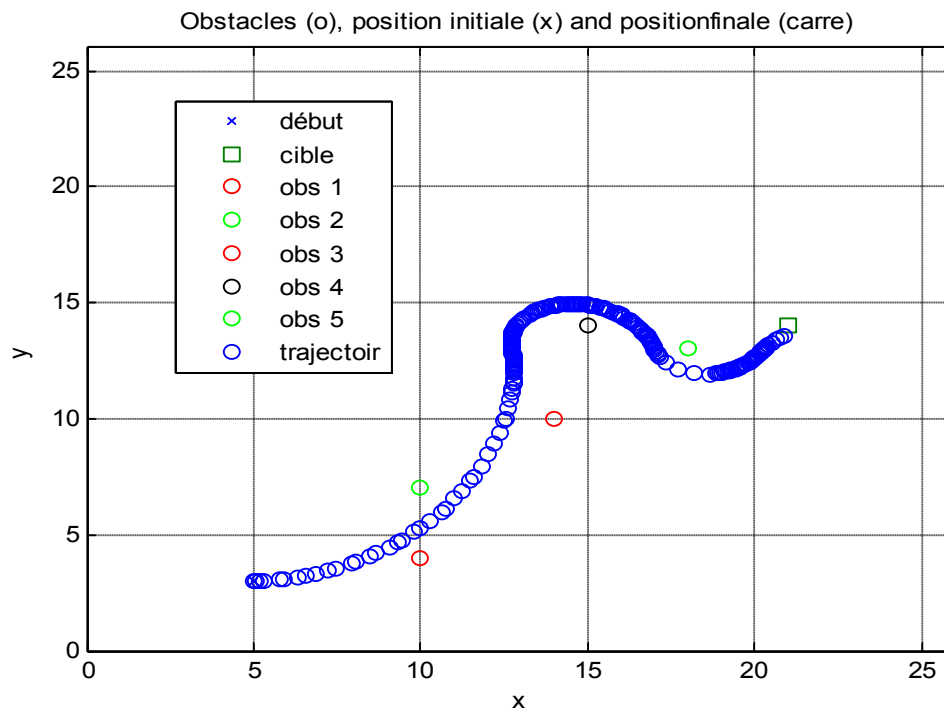


Figure IV.14 : a) Navigation avec évitement de quatre obstacles.

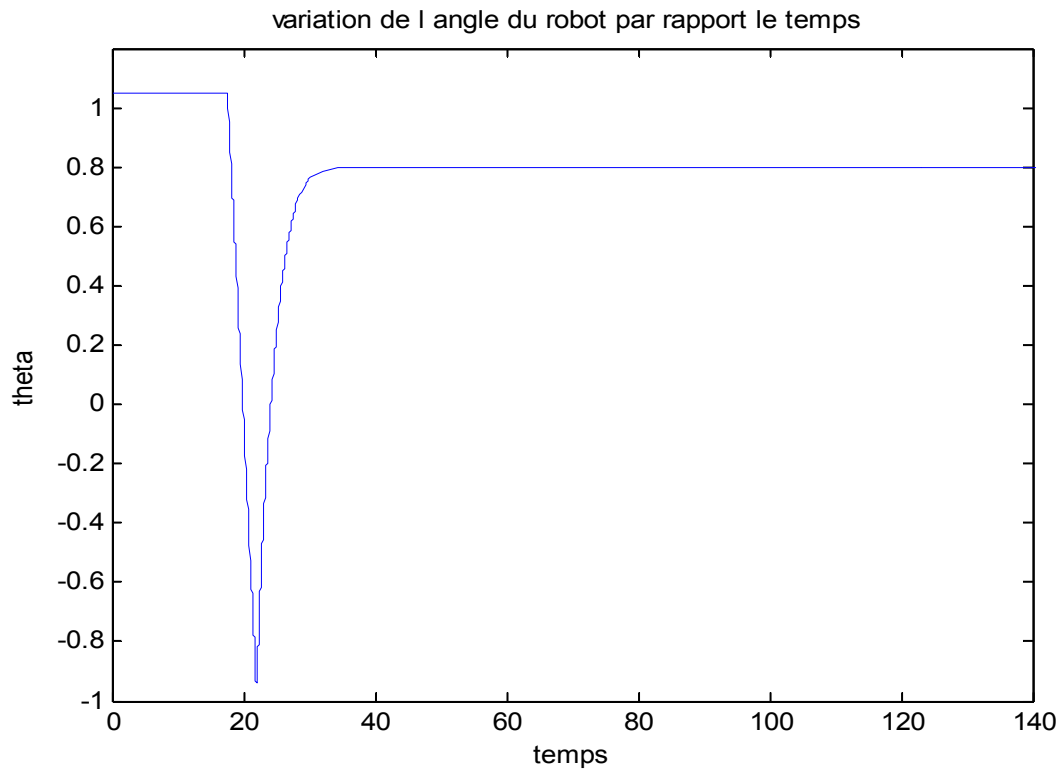


Figure IV.14 : b) Variation de l'angle du robot.

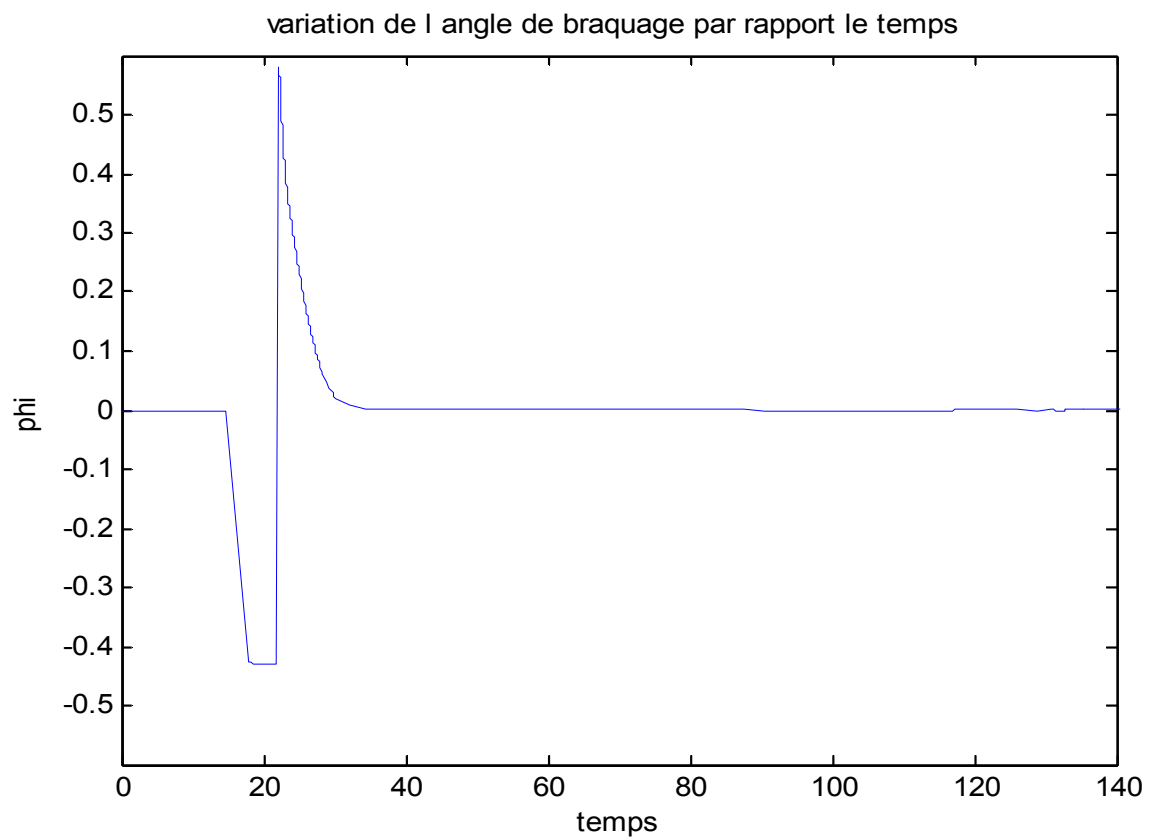


Figure IV.14 : c) Variation de l'angle de braquage du robot.

IV.4 Conclusion

La faisabilité du contrôleur flou intelligent pour mettre en œuvre le calcul approximatif de raisonnement nécessaire pour la manipulation de l'incertitude, inhérente au problème d'évitement d'obstacles, avec le minimum de capteurs (trois capteurs semblent largement suffisants pour permettre une navigation du robot), a été démontrée ici. Ce chapitre se focalise sur la conception détaillée de notre système de navigation floue.

Tout d'abord, nous avons décrit la structure globale et l'architecture détaillée de notre système ainsi que les contrôleurs d'inférences floues pratiquement utilisés. Ensuite nous avons présenté les résultats de simulation de notre système en utilisant l'environnement Matlab-Simulink. Puis nous avons présenté le fonctionnement du système et les contextes applicatifs de la navigation. Enfin nous avons décrit la manière dont nous avons implémenté chaque module de notre système, ainsi que les structures de données utilisées et les algorithmes de fonctionnement.

La logique floue est un outil puissant, simple à implémenter. Ces contrôleurs présentent néanmoins quelques inconvénients, entre autre la nécessité d'évaluer et d'affiner les contrôleurs (les fonctions d'appartenance d'entrée /sortie et les tables d'inférences). Cette évaluation est difficile à cause des règles d'inférence et nécessite plus de temps, c'est-à-dire les règles doivent être construites par un expert, qui peut définir pour chaque règle la conclusion correspondante.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] D.D. Slimane noureddine, "système de localisation pour robots mobiles" ,Université De Batna 2005.
- [2] Hans Moravec. "ROBOT : mere machine to transcendent mind". Oxford University Press, 1995.
- [3] Daniel Ichbiah. " Robots, Génèse d'un peuple artificiel. Minerva", 2005.
- [4] D.Stéphane Lens. "Locomotion d'un robot mobile", Mai 2008.
- [5] Louis. Boimand. "Cours ROBOTIQUE ISTIA, Université Angers Jean.
- [6] Y. Haddab, S. Dembele, P. Moal and A. Bourjault, 'Autonomous mobile robot for navigation and precise positioning'. First National Colloquium on Computer-Integrated Manufacturing, 1998.
- [7] Rajiv Ellepola and Peter Kevesi, 'Mobile robot navigation in a semi-structured environment'. The Fourth International Conference on Control, Automation, Robotics and Vision (ICARCV'96), pp. 914-918, Singapore, 3-6 December, 1996.
- [8] C. Becker, J. Salas, K. Tokusei and J.C. Latombe, 'Reliable navigation using landmarks'. In proceedings of the 1995 IEEE International Conference on Robotics and Automation, 1995.
- [9] C. Durieu, algorithmes de localisation d'un robot mobiles dans un milieu balisé par mesure de distance ou d'angle de gisement tenant compte des mesures aberrantes. Algorithmes de calibration et de recalage du champ de balise, thèse de doctorat de l'université de Paris sud 1989.
- [10] D. Boley, E. Steinmetz and K. Sutherland, 'Robot localization from landmarks using recursive total least squares'. In proceedings of the 1996 IEEE International Conference on Robotics and Automation, Minneapolis, 1996.
- [11] J. Borenstein, H. R. Everett, and L. Feng, "Where am I, Sensors and Methods for Mobile Robot Positioning", University of Michigan, 1996.
- [12] K. M. Passino and S. Yurkovich, "Fuzzy Control", Addison Wesley Longman, 1998.
- [13] H. Bühler, "Réglage par Logique Floue", Première édition, Presses Polytechniques et Universitaires, Romandes, 1994.

- [14] L.X. Wang, "Adaptive Fuzzy Systems and Control: Design and Stability Analysis", Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ, 1994.
- [15] K. M. Passino and S. Yurkovich, "Fuzzy Control", Addison Wesley Longman, 1998.
- [16] E. H. Mamdani and S. Assilian, "An Experiment in Linguistic Synthesis with a Fuzzy Logic Controller", International Journal of Man-Machine Studies, vol. 7, no. 1, pp. 1-13, 1975.
- [17] T. Takagi and M. Sugeno, "Fuzzy Identification of Systems and its Applications to Modeling and Control", IEEE Transactions on Systems, Man, Cyber, vol. 15, pp. 116-132, 1985.
- [18] P. Y. Glorennec, "Algorithmes d'Apprentissage pour Systèmes d'inférence Floue", Edition Hermès, 1999.
- [19] Jerry M. Mendel, Tutorial: fuzzy logic systems for engineering, Proceeding of the IEEE, Vol. 83, N°3, pages: 345-377, March 1995.
- [20] R. Brooks, "A Robust Layered Control System for a Mobile Robot", IEEE Journal of Robotics and Automation, vol. 2, no.1, pp.14-23, 1986.
- [21] Y. Cang, N. H. C. Yung, D. Wang, "A Fuzzy Controller with Supervised Learning Assisted Reinforcement Learning Algorithm for Obstacle Avoidance", IEEE Transaction on Systems, Man, and Cybernetics-Part B: Cybernetics, vol. 33, no.1, pp.1-11, 2003.
- [22] M. Wang, N. K. Liu James, "Fuzzy Logic based Real-time Robot Navigation in Unknown Environment with Dead Ends", Robotics and Autonomous Systems, vol. 56, pp.625-643, 2008.
- [23] G. Blanc, Y. Mezouar, and P. Martinet. Indoor navigation of a wheeled mobile robot along visual routes. In Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics and Automation, 2005.
- [24] D. Boley, E. Steinmetz, and K. Sutherland. Robot localization from landmarks using recursive total least squares. In Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA-96), volume 4, pages 1381–1386, 1996.
- [25] J. Borenstein and Y. Koren. The vector field histogram - fast obstacle avoidance for mobile robots. IEEE Journal of Robotics and Automation, 7 :278–288, 1991.
- [26] D. Fox, W. Burgard, and S. Thrun. The dynamic window approach to collision avoidance. IEEE Robotics and Automation Magazine, 4(1), 1997.
- [27] Latombe J. " Robot Motion Planning". Kluwer Academic Publishers, Boston, 1991.
- [28] Ronald Arkin. Behavior-Based Robotics. The MIP Press, 1998.

- [29] J. Barraquand, C. Latombe, «Robot Motion Planning : A Distributed Representation Approach», International journal of Robotics Research, v.10 n.6, p.628-649. December 1991.
- [30] Lee, Leng-Feng. 2004. « Decentralized Motion Planning Within an Artificial Potential Framework (APF) for Cooperative Payload Transport by Multi-Robot Collectives ».Mémoire de Maîtrise, Buffalo, New York, State University of New York at Buffalo,193p.
- [31] Park, M. G., Lee, M. C. 2003. « Artificial Potential Field Based Path Planning for Mobile Robots using a Virtual Obstacle Concept ». In Proceedings of the IEEE/ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics.(Kobe, Japan, 20-23 Jul. 2003), pp. 735-740.
- [32] Joe,Sfeir. 2009. « Navigation D'un Robot Mobile En Environnement Inconnu Utilisant Les Champs De Potentiels Artificiels».Mémoire de Maîtrise, Montréal, Ecole de TS.
- [33] W. L. Xu, S. K. Tso, Y. H. Fung: Fuzzy Reactive Control of a Mobile Robot Incorporating a Real/Virtual Target Switching Strategy, Robotics and Autonomous Systems, Vol. 23, pp. 171-186, 1998.
- [34] RanajitChatterjee, FumitoshiMatsuno: Use of Single Side Reflex for Autonomous Navigation of Mobile Robots in Unknown Environments, Robotics and Autonomous Systems, Vol. 35, pp. 77-96, 2001.
- [35] DraganSaletic, UrosPopovic: Fuzzy Expert System for Automatic Movement Control of a Platform on a Ground with Obstacles, Proceedings of the YuINFO 2006, pp. 1-6, Kopaonik, Serbia and Montenegro, 2006.
- [36] E.H. Mamdani, "Application of Fuzzy Algorithms for Control of Simple Dynamic Plant", Proc. of IEEE, vol. 121, no. 12, pp. 1585-1588, 1974.

CONCLUSION GENERALE

De nos jours, il y a quelqu'un qui ne connaît pas les robots, et parce qu'ils sont dispersés dans un large, certains pourraient penser qu'il est simple à faire, mais dans la vérité il est un très complexe, mais la difficulté réside dans la façon de contrôler sa direction et d'éviter les obstacles qui se rencontrent sur la bonne voie vers le but.

Au début, nous avons parlé à la robotique mobile et les choses les plus importantes pour ce domaine comme la modélisation et l'application ..., en passant par la logique floue et le contrôle floue, et aussi de choisir le modèle pour éviter les obstacles, jusqu'à la phase la plus importante, qui est la simulation.

L'objectif de notre travail est d'accroître l'autonomie de mouvement d'un robot. Cette autonomie a pour but de lui permettre de rejoindre un point quelconque de son environnement de travail tout en évitant les obstacles sur son chemin. L'évitement d'obstacles est un comportement de base présent dans quasiment tous les robots.

Nous avons passé beaucoup de mal dans ce mémoire, le début d'un manque de temps, jusqu'à la difficulté de la simulation, mais nous avons réussi dans la dernière pour atteindre les résultats souhaités. Après l'effort et la fatigue, sans oublier l'effort fait par notre promoteur.