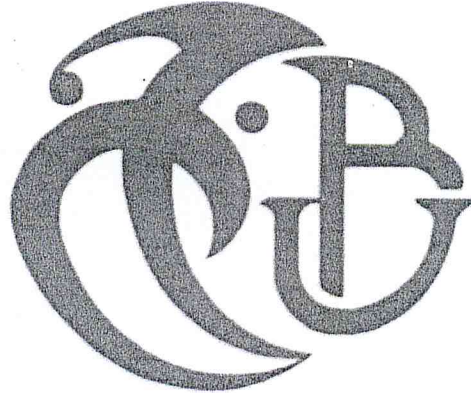
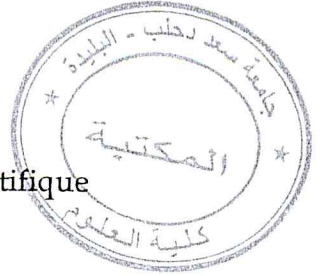


République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Université Saad Dahlab, Blida
USDB.

Faculté des Sciences.
Département Informatique.

Mémoire pour l'obtention
Du diplôme de Master en Informatique.

Option :
Ingénierie de Logiciels

Sujet :

**Etude et Simulation d'un Système de Navigation d'un
Robot Mobile Autonome via des Capteurs sans Fil**

Présenté par : KHELLIL Nacera

Promoteur : Dr. BELHOCINE Mahmoud

Co-Promoteur : Dr. BENBLIDIA Nadja

Organisme d'accueil : CDTA

- 2010/2011-



A mon mari, à mes filles Meriem, Sara et Houda,

A toute ma famille



Remerciements

Mes vifs remerciements vont tout d'abord au personnel du département informatique de l'USDB, qui a veillé au bon déroulement de la préparation de ce diplôme de MASTER. Je tiens aussi à remercier le Directeur du CDTA de nous avoir aidés pour progresser de notre carrière et continuer nos études.

Mes remerciements vont également à mon promoteur Dr. Mahmoud Belhocine du CDTA, pour avoir accepté la direction de mon travail, pour ses conseils pertinents ainsi que la marque de confiance qu'il m'a manifesté.

Je tiens à remercier tous les membres de jury pour avoir accepté d'examiner ce travail. Je tiens également à exprimer toute ma gratitude à mes enseignants, en particulier Mr Belnouar, Melle Azzouz, Mr Ali Abbassane, et Melle Nadjia Benblidia.

Je tiens aussi à remercier Mr Abdelhalim Slimane, chercheur au CDTA pour son aide et sa disponibilité.

Résumé

Le travail présenté dans ce mémoire porte essentiellement sur la simulation d'un système de navigation autonome réactive d'un robot mobile doté d'un capteur RFID sans fil, dans un environnement intelligent muni d'un ensemble d'étiquettes RFID qui servent à localiser le robot sans aucune trajectoire de référence ou une carte préétablie.

Le modèle de l'environnement qu'on a choisi est un environnement d'intérieur structuré qui permet la navigation sans difficulté d'un robot de type unicycle.

La méthode de localisation utilisée est basée sur le calcul trigonométrique de la position du robot par rapport les balises de l'environnement que le capteur du robot RFID détectent à chaque fois qu'il passe par elles à une distance égale à au rayon de son champ RF.

Pour la méthode de navigation, nous avons proposé une approche basée sur utilisation des valeurs courantes du capteur et les données provenant de l'environnement, pour décider de l'action à effectuer. Elle permet au système mobile de se mouvoir de manière réactive sans crainte de collisions avec les obstacles de son environnement.

Table des Matières

| | | | |
|-------|---|--|----|
| 1 | Chapitre 1 | Robots Mobiles et leurs Systèmes de Perception | 5 |
| 1.1 | Introduction | | 6 |
| 1.2 | Les grandes classes de robots mobiles et leurs modèles | | 6 |
| 1.2.1 | Les plateformes Différentielles | | 6 |
| 1.2.2 | Les plates-formes omnidirectionnelles | | 7 |
| 1.2.3 | Les plates-formes de type tricycle | | 8 |
| 1.3 | Les capteurs | | 8 |
| 1.3.1 | Les capteurs proprioceptifs | | 8 |
| 1.3.2 | Les capteurs extéroceptifs | | 9 |
| 1.4 | Choix de Capteurs | | 15 |
| 1.5 | Conclusion | | 15 |
| 2 | Chapitre 2 | Navigation et localisation basées sur la RFID | 17 |
| 2.1 | Introduction | | 18 |
| 2.2 | Localisation | | 18 |
| 2.2.1 | Les méthodes de localisation relative | | 18 |
| 2.2.2 | Les méthodes de localisation absolue | | 18 |
| 2.2.3 | Méthodes de localisation mixte | | 19 |
| 2.3 | Évitement réactif d'obstacles sans trajectoire de référence | | 19 |
| 2.3.1 | Champs de potentiel | | 19 |
| 2.3.2 | Steering Angle Field (SAF) | | 19 |
| 2.4 | Localisation par capteur RFID | | 20 |
| 2.4.1 | Systèmes RFID | | 20 |
| 2.4.2 | Les applications de la navigation du robot mobile par RFID | | 21 |
| 2.4.3 | Travaux antérieurs | | 22 |
| 2.4.4 | Comparaison des différentes méthodes de localisation basé sur la RFID | | 24 |
| 2.5 | Conclusion | | 24 |
| 3 | Chapitre 3 | Contribution | 25 |
| 3.1 | Introduction | | 26 |
| 3.2 | Notre Approche : Navigation Réactive par la RFID | | 26 |
| 3.2.1 | Critères de notre approche | | 26 |

| | | |
|-------|---|----|
| 3.2.2 | Méthode de localisation et estimation de position du robot..... | 27 |
| 3.2.3 | Méthode de navigation en évitant les obstacles étiquetés | 28 |
| 3.3 | Conclusion..... | 37 |
| 4 | Chapitre 4 Implémentation..... | 38 |
| 4.1 | Introduction | 39 |
| 4.2 | Notre Application | 39 |
| 4.2.1 | Outils de développement..... | 39 |
| 4.2.2 | Présentation du SPL | 41 |
| 4.2.3 | Structure d'un programme SPL..... | 41 |
| 4.3 | Procédures développées | 44 |
| 4.3.1 | Procédures liées au robot : | 44 |
| 4.3.2 | Procédures liées à la stratégie de navigation | 44 |
| 5 | Chapitre 5 Résultats | 46 |
| 5.1 | Résultats de simulation..... | 47 |
| 5.1.1 | Ajout d'un robot de type unicycle..... | 47 |
| 5.1.2 | Ajout des obstacles..... | 47 |
| 5.1.3 | Ajout d'un lecteur RFID | 48 |
| 5.1.4 | Ajout des étiquettes RFID | 48 |
| 5.1.5 | Navigation autonome et évitement des obstacles..... | 49 |
| 5.1.6 | Navigation : cas des obstacles proches | 49 |
| 5.1.7 | Navigation : cas des obstacles éloignés..... | 51 |
| 5.1.8 | Discussion des résultats obtenus : | 52 |
| 5.2 | Conclusion..... | 52 |

Liste des figures

| | |
|---|----|
| Figure 1-1 : Exemple de plateforme différentielle | 6 |
| Figure 1-2: Modèle d'une plateforme différentielle..... | 7 |
| Figure 1-3 : Exemple de plateforme omnidirectionnelle..... | 7 |
| Figure 1-4 : Exemple de plateforme de type tricycle | 8 |
| Figure 1-5: Principe du télémètre à ultrasons..... | 10 |
| Figure 1-6: Exemples de télémètres ultrasonores, (a) Télémètre ultrasonore Polaroid Migatron RPS 409 IS, (b) Télémètre ultrasonore Polaroid série 600, (c) Télémètre ultrasonore MSU08..... | 10 |
| Figure 1-7: Télémètre infrarouge Sharp de la famille GP2..... | 11 |
| Figure 1-8: Télémètre laser SICK fournissant 180 mesures réparties sur 180 degrés..... | 12 |
| Figure 1-9 Les Composants d'un système RFID | 14 |
| Figure 2-1 : Détection d'un tag collé sur la table | 20 |
| Figure 2-2 : Robot doté d'un capteur RFID | 21 |
| Figure 3-1 : Localisation du robot..... | 27 |
| Figure 3-2 : Cas des obstacles éloignés..... | 28 |
| Figure 3-3 : Cas des obstacles proches..... | 33 |
| Figure 5-1 : Robot différentiel | 47 |
| Figure 5-2 : Obstacles dans la scène | 47 |
| Figure 5-3 : Intégration d'un capteur RFID | 48 |
| Figure 5-4 : Ajout de tags dans l'environnement..... | 48 |
| Figure 5-5 : Détection des tags RFID..... | 49 |
| Figure 5-6 : Navigation : tags proches | 49 |
| Figure 5-7 : cas des obstacles proches..... | 50 |
| Figure 5-8 : Navigation tags éloignés | 51 |
| Figure 5-9 : Tag éloignés avec échec | 51 |

Introduction Générale

Un robot est un outil programmable capable de réaliser des actions précises, adaptées et répétitif dans un environnement donné. Les robots sont actuellement des systèmes complexes intégrant de la perception et des actions. Il est possible aujourd'hui de confier une multitude de tâches à un robot. Ces tâches sont, par exemple, se déplacer vers une cible fixe ou mobile, éviter les obstacles, et se mouvoir de manière autonome. Pour cela, les problèmes à résoudre sont parfois assez complexes. L'un d'eux est la localisation absolue du robot mobile par rapport son environnement et le suivi de la trajectoire planifiée qui ne permet pas de garantir l'absence de collision. En effet, des collisions peuvent se produire lors de l'exécution de la trajectoire, Tout ces éléments font que le mouvement initialement planifié doit être adapté lors de son exécution, et que des stratégies d'évitement réactif d'obstacles doivent être mises en œuvre.

C'est dans ce contexte que se situe le travail de notre mémoire de Master, le but est de doter un robot mobile de type unicycle d'une capacité de réaction et d'action dans un environnement d'intérieur, il sera nécessaire d'intégrer un capteur sans fil pour se localiser par rapport un ensemble des balises, ensuite prendre une décision permettant d'atteindre son but.

Problématique traitée

Pour un robot mobile se déplaçant dans un environnement qui peut être inconnu a priori, l'autonomie de déplacement devient un problème encore plus difficile à résoudre que dans le cas où le robot mobile évolue dans un environnement parfaitement connu. La navigation autonome doit pouvoir répondre aux trois : Où suis-je ? Où dois-je aller ? Comment m'y rendre ? .Ces questions posent le problème de la localisation et la prise de décision pour atteindre le but. La localisation nécessite le choix de capteurs afin que le système mobile puisse reconnaître les obstacles de son environnement. La reconnaissance implique la présence d'un ensemble des balises à des endroits connus a priori. La prise de décision se fait par l'orientation du robot vers la cible après chaque évitement d'obstacle.

Motivation

Le travail présenté dans ce mémoire porte essentiellement sur le développement d'une méthode de localisation et d'une méthode de navigation pour un robot mobile dans un environnement d'intérieur.

Notre motivation est le développement la technique de perception, de localisation et de navigation la plus appropriée rendant ce robot mobile capable de percevoir et d'utiliser ses données perceptuelles pour augmenter son autonomie de déplacement, pouvoir agir et réagir face à son environnement et accomplir ses tâches tout en évitant les obstacles imprévus.

Plan du mémoire

Ce mémoire de master décrit le développement d'une application qui permet la simulation et l'analyse d'une approche utilisant la navigation réactive d'un robot mobile en utilisant la technologie RFID lecteurs et les étiquettes passives. Il se divise en quatre chapitres :

Le 1^{er} chapitre est un aperçu sur les différentes plateformes mobiles et les systèmes de perception d'un robot mobile.

Le 2^{ème} chapitre décrit le problème de la navigation réactive d'un robot mobile, qui nécessite la mise en œuvre d'une stratégie basée sur l'utilisation d'un capteur RFID et des Tags RFID pour informer le robot de sa position et lui permettre d'atteindre son but sans collision.

Le 3^{ème} chapitre est une description détaillée de la méthode de localisation et navigation développée, ces critères de fonctionnement, et sa structure algorithmique.

Le 4^{ème} chapitre présente l'outil de simulation 3D qu'on a exploité pour l'implémentation de notre application. Il décrit également les différentes procédures et commandes développées pour simuler notre approche de navigation.

Le 5^{ème} chapitre montre les résultats de simulations de la stratégie de navigation développée.

Chapitre 1

Robots Mobiles et leurs Systèmes de Perception

1.1 Introduction

De manière générale, on regroupe sous l'appellation robots mobiles l'ensemble des robots à base mobile, par opposition notamment aux robots manipulateurs. L'usage veut néanmoins que l'on désigne le plus souvent par ce terme les robots mobiles à roues. Les autres robots mobiles sont en effet le plus souvent désignés par leur type de locomotion, qu'ils soient marcheurs, sous-marins ou aériens.

On peut estimer que les robots mobiles à roues constituent la majorité des robots mobiles. Historiquement, leur étude est venue assez tôt, suivant celle des robots manipulateurs, au milieu des années 70. Leur faible complexité en a fait de bons premiers sujets d'étude pour les roboticiens intéressés par les systèmes autonomes. Cependant, malgré leur simplicité apparente (mécanismes plans, à actionneurs linéaires), ces systèmes ont soulevé un grand nombre de problèmes difficiles. Contrairement aux robots manipulateurs prévus pour travailler exclusivement dans des espaces connus et de manière répétitive, les robots mobiles sont destinés à évoluer de manière autonome dans des environnements peu ou pas structurés.

1.2 Les grandes classes de robots mobiles et leurs modèles

1.2.1 Les plateformes Différentielles

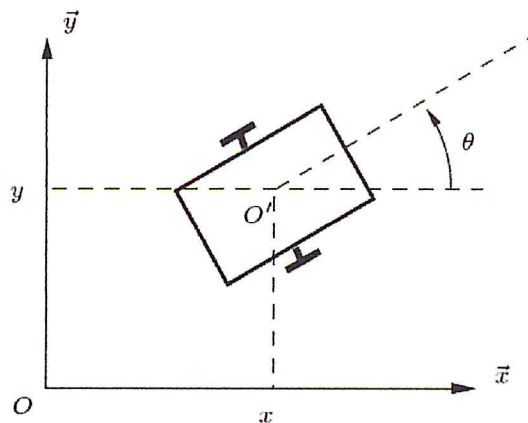
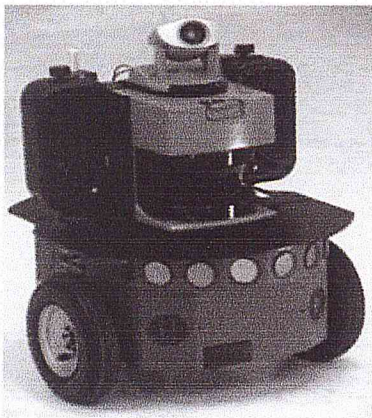


Figure 1-1 : Exemple de plateforme différentielle

Une des plateformes mobiles les plus utilisées pour les robots mobiles d'intérieur est la configuration différentielle qui comporte deux roues commandées indépendamment.

Une ou plusieurs roues folles sont ajoutées en avant ou en arrière du robot pour assurer sa stabilité (Figure 1-2). Cette plate-forme est très simple à commander, puisqu'il suffit de spécifier les vitesses des deux roues, et ça permet au robot de tourner sur place.

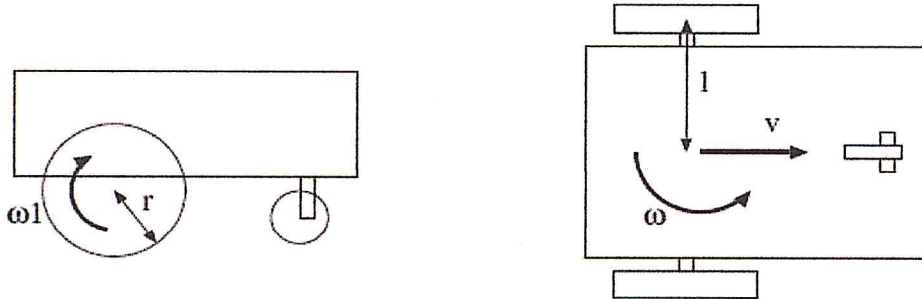


Figure 1-2: Modèle d'une plateforme différentielle

L'estimation du déplacement par odométrie est également très simple à partir de la mesure des vitesses de rotation des deux roues ω_1 et ω_2 [1].

1.2.2 Les plates-formes omnidirectionnelles

Les plates-formes omnidirectionnelles permettent de contrôler de la rotation et la translation d'un robot. Elles utilisent pour cela trois à quatre roues qui tournent à la même vitesse pour fournir une translation et un mécanisme qui permet d'orienter simultanément ces roues dans la direction du déplacement souhaitée (Figure 1-3).

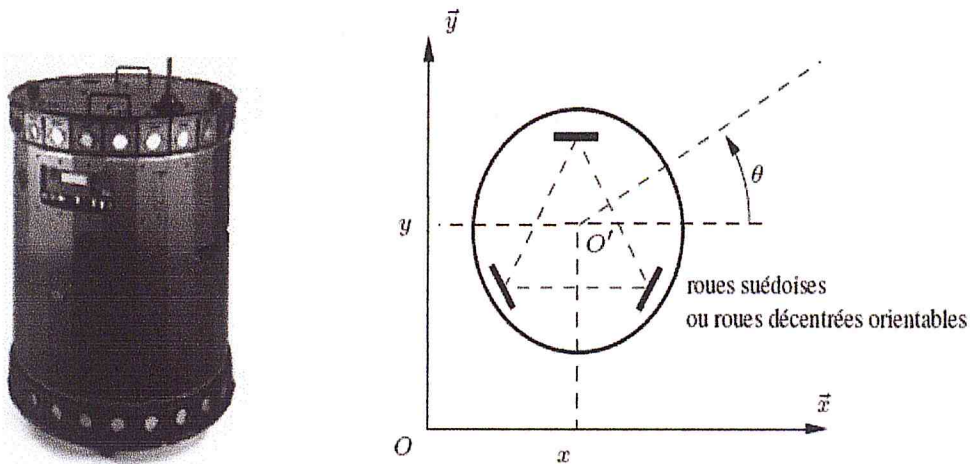


Figure 1-3 : Exemple de plateforme omnidirectionnelle

Le corps du robot lui-même n'effectue pas de rotation mais uniquement des translations. Ce type de robot permet un contrôle très simple et relativement rapide car les changements de direction ne concernent que les roues et peuvent donc se faire rapidement.

1.2.3 Les plates-formes de type tricycle

Ce robot est constitué de deux roues fixes de même axe et d'une roue centrée orientable placée sur l'axe longitudinal du robot. Le mouvement est conféré au robot par deux actions : la vitesse longitudinale et l'orientation de la roue orientable. Ce modèle est très proche d'une voiture [2]. (Figure 1-4)

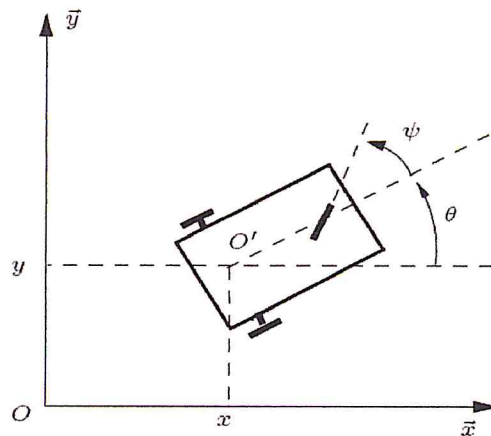


Figure 1-4 : Exemple de plateforme de type tricycle

1.3 Les capteurs

Nous présentons dans cette section les capteurs les plus utilisés en robotique mobile pour les besoins de la navigation. On peut définir deux catégories de capteurs en robotique mobile : les premiers sont appelés capteurs proprioceptifs, ils sont exploités pour la localisation relative en estimant la distance parcourue par le robot mobile, et les seconds sont les capteurs extéroceptifs employés pour la localisation absolue à partir de la perception de l'environnement.

1.3.1 Les capteurs proprioceptifs

Les capteurs proprioceptifs permettent une mesure du déplacement du robot. Ce sont les capteurs que l'on peut utiliser le plus directement pour la localisation, mais ils souffrent d'une dérive au cours du temps qui ne permet pas en général de les utiliser seuls.

1.3.1.1 L'odométrie

L'odométrie permet d'estimer le déplacement à partir de la mesure de rotation des roues (ou du déplacement des pattes) [2]. La mesure de rotation est en général effectuée par un codeur optique disposé sur l'axe de la roue, ou sur le système de transmission (par exemple sur la sortie de la boîte de vitesse). Le problème majeur de cette mesure est que l'estimation du déplacement fournie dépend très fortement de la qualité du contact entre la roue et le sol. Elle peut être relativement correcte pour une plate-forme à deux roues motrices sur un sol uniforme. Notons cependant que l'erreur de ces méthodes se retrouve en général principalement sur l'estimation de la direction du robot, tandis que la mesure de la distance parcourue est souvent de meilleure qualité.

1.3.1.2 Les systèmes radar doppler

Au lieu de mesurer le déplacement par des mesures sur les roues, il est possible d'utiliser un petit radar pointé vers le sol qui permet de mesurer la vitesse du véhicule par effet Doppler. Ce système présente l'avantage d'être beaucoup plus précis que la mesure passant par les roues, et d'être indépendant des dérapages possible de ces roues, mais il est en général plus cher et encombrant. Il est de plus très rare sur les petites plates-formes car il ne peut mesurer de faibles vitesses de déplacement [2].

1.3.2 Les capteurs extéroceptifs

Les capteurs extéroceptifs sont employés dès qu'il est nécessaire de collecter des informations sur l'environnement d'évolution du robot. Ils sont généralement le complément indispensable aux capteurs proprioceptifs présentés précédemment.

1.3.2.1 Les télémètres

Il existe différents types de télémètres, qui permettent de mesurer la distance utilisant divers principes physiques.

1.3.2.1.1 Télémètres à ultrason

Les télémètres à ultrasons sont historiquement les premiers à avoir été utilisés. Ils utilisent la mesure du temps de retour d'une onde sonore réfléchiée par les obstacles pour estimer la distance (Figure 1-6). Ces télémètres sont très simple et peu cher, et sont donc très répandus, mais possèdent de nombreux inconvénients [3].

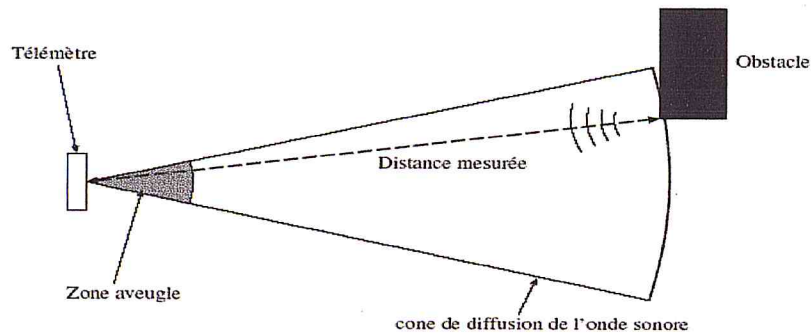


Figure 1-5: Principe du télémètre à ultrasons.

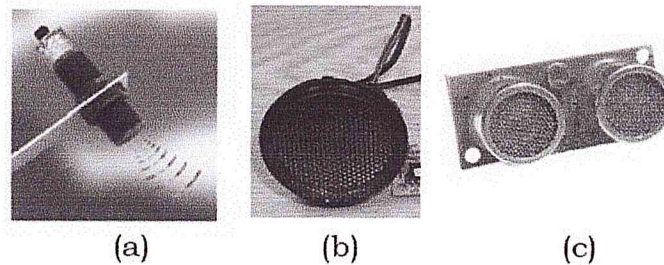


Figure 1-6: Exemples de télémètres ultrasonores, (a) Télémètre ultrasonore Polaroid Migatron RPS 409 IS, (b) Télémètre ultrasonore Polaroid série 600, (c) Télémètre ultrasonore MSU08.

Inconvénients

- Deux télémètres voisins ne peuvent être utilisés simultanément, car il est impossible de savoir par lequel des deux télémètres une onde réfléchie a été émise.
- L'onde réfléchie est très sensible aux conditions environnementales locales.
- Si l'angle entre l'obstacle et la direction de l'onde sonore est trop faible, il n'y aura pas de retour de l'onde sonore et l'obstacle ne sera pas perçu.
- L'onde de retour dépend également de la texture de l'obstacle. Un mur couvert de moquette pourra par exemple ne pas être détecté.

1.3.2.1.2 Télémètres à infrarouge

Ces télémètres possèdent l'avantage d'avoir un cône de détection beaucoup plus restreint [2]. Ils utilisent une lumière infrarouge au lieu d'une onde sonore pour la détection et peuvent être basés sur différentes techniques qui permettent de recueillir plus ou moins

d'information. Il est possible de mesurer simplement le retour ou le non-retour d'une impulsion codée, ce qui permet de détecter la présence ou l'absence d'un obstacle dans une certaine portion de l'espace (Figure 1-7)

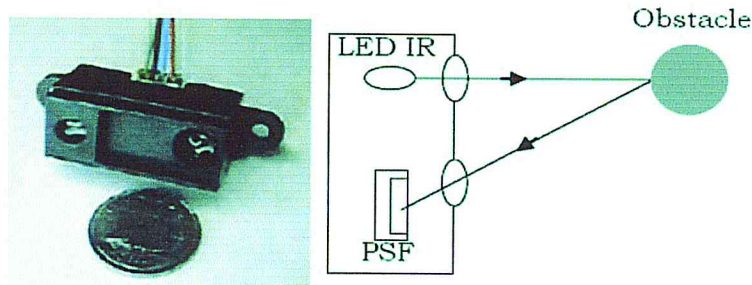


Figure 1-7: Télémètre infrarouge Sharp de la famille GP2.

Il est également possible de réaliser une triangulation sur le faisceau de retour de l'onde lumineuse, ce qui permet d'avoir une mesure de la distance de l'obstacle.

Inconvénients

- ✓ Leur portée relativement restreinte
- ✓ leur sensibilité aux fortes sources de lumières qui contiennent un fort rayonnement infrarouge.
- ✓ Très sensibles à la couleur et à la nature de la surface de l'obstacle (par exemple, ils détectent difficilement les vitres).

1.3.2.1.3 Télémètres laser

Les télémètres les plus utilisés à l'heure actuelle pour des applications de cartographie et de localisation sont les télémètres laser à balayage. Ils utilisent un faisceau laser mis en rotation afin de balayer un plan, en général horizontal, et qui permet de mesurer la distance des objets qui coupent ce plan (Figure 1-8). Cette mesure peut être réalisée selon différentes techniques (mesure du temps de retour, interférométrie...).



Figure 1-8: Télémètre laser *SICK* fournissant 180 mesures réparties sur 180 degrés.

Les télémètres les plus courant ont une bonne résolution angulaire car ils permettent d'obtenir une mesure de distance tout les demi degrés, sur une zone de 180 ou 360 degrés selon les modèles. Ces télémètres sont très utilisés en environnement intérieur car ils fournissent des données abondantes et précises sur la position des objets caractéristiques de l'environnement tels que les murs.

Inconvénients

- ✓ Leur zone de perception est restreinte à un plan et ne permet donc pas de détecter les obstacles situés hors de ce plan (un petit objet posé au sol par exemple).
- ✓ Ils ne peuvent pas non plus détecter les objets ne réfléchissant pas correctement la lumière du laser (les vitres, objets chromés).
- ✓ Ils sont chers et fragile du fait de la mécanique nécessaire au balayage. De plus, la fréquence d'acquisition est relativement faible (de l'ordre de quelques Hertz), ce qui pose problème lorsque le robot est en mouvement.

1.3.2.2 Comparaisons des différents capteurs à télémétrie

| | Ultrason | Infrarouge | Laser |
|--------------------------------------|---|--|---|
| Portée | De 1 à 250 cm | De 5 à 80 cm | Plusieurs mètres à plusieurs dizaines de mètres selon les modèles. |
| Directivité | Cône d'environ 30° | Cône d'environ 5° | Les plus directifs (de l'ordre du degré, voire du demi-degré) |
| Précision | Relativement précis mais la précision diminue avec la distance, l'angle de mesure et les conditions de température et de pression. | Relativement précis mais la précision diminue avec la distance. | Sont précis avec un bruit de quelques centimètres sur des mesures de plusieurs mètres. |
| Coût | Peu chers | Peu chers | Relativement chers |
| Sensibilité aux interférences | Sensible à la température et à la pression. Egalement sensible aux autres robots utilisant la même fréquence ce qui peut poser problème dans une compétition. | Sont sensibles aux fortes sources de lumière qui contiennent un fort rayonnement infrarouge. Sont également sensibles à la couleur et à la nature des obstacles. | Ne peut pas détecter les objets réfléchissant la lumière laser (vitres, objets chromés,...) |

1.3.2.3 Les caméras

L'utilisation d'une caméra pour percevoir l'environnement est une méthode attractive car elle semble proche des méthodes utilisées par les humains. Le traitement des données volumineuses et complexes fournies par ces capteurs reste cependant difficile à l'heure actuelle, même si cela reste une voie de recherche très explorée. Il existe trois types de caméras, les caméras simples, les caméras stéréoscopiques et les caméras panoramiques.

1.3.2.4 Les capteurs tactiles

Les robots peuvent être équipés de capteurs tactiles, qui sont le plus souvent utilisés pour des arrêts d'urgence lorsqu'il rencontre un obstacle qui n'avait pas été détecté par le reste du système de perception.

1.3.2.5 Les balises

Dans certaines applications, il est également possible d'utiliser des balises dont on connaît la position, et qui pourront être facilement détectées par le robot, afin de faciliter sa localisation. Des techniques très diverses peuvent être utilisées pour ces balises. On peut par exemple utiliser un **signal radio**, émis de manière omnidirectionnel par la balise. Le robot

sera alors équipé d'une antenne directionnelle qui lui permettra de détecter la direction des différentes balises, afin de déduire sa position par triangulation. On peut également utiliser des codes couleurs ou des codes barres qui pourront être détectés par une caméra.

1.3.2.6 Radio fréquences

1.3.2.6.1 GPS (Global Positioning System)

Les besoins de localisation étant omniprésents dans de très nombreux secteurs de la vie actuelle, l'idée d'avoir un système de localisation le plus universel possible a donné lieu à l'apparition du GPS. C'est un système de balises dont on a placé les balises sur des satellites en orbite terrestre et qui est par conséquent accessible de quasiment partout à la surface du globe.

Cependant, ce système est loin de résoudre tous les problèmes de localisation des robots mobiles. Il fonctionne en effet difficilement dans des environnements urbains, et n'est pas utilisable à l'intérieur. Sa précision est de plus souvent trop faible pour qu'un robot terrestre puisse utiliser ces informations seules.

1.3.2.6.2 RFID : Radio Frequency Identification

RFID est un terme générique désignant les technologies qui utilisent les ondes radios pour identifier des gens ou des objets. Il y a plusieurs méthodes d'identification mais en général on stocke des informations sur une puce électronique attachée à une antenne, cette puce s'appelle étiquette RFID (Radio Frequency Identifier) ou Tag RFID.

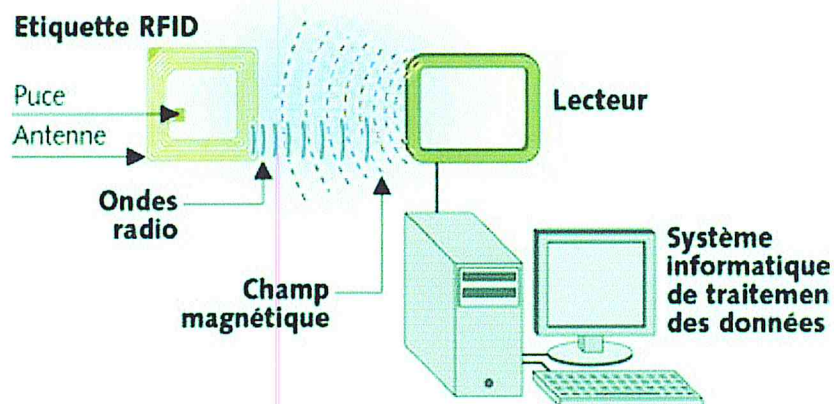


Figure 1-9 Les Composants d'un système RFID

Pour lire ou écrire une étiquette RFID, un lecteur RFID doit d'abord émettre une commande de détection et ensuite envoyer une commande de lecture ou d'écriture d'un bloc. Leur portée varie d'une dizaine de centimètres à une dizaine de mètres pour les RFID passifs (toute l'énergie nécessaire à l'étiquette est fournie par le lecteur), et à une centaine de mètres pour les RFIDs actifs. La capacité de stockage d'une puce RFID est typiquement de moins d'un kilo-octet. Cependant, certains types de RFID montent jusqu'à 8 kilo-octets.

1.4 Choix de Capteurs

Evidemment, tous les systèmes de perception ont leurs avantages et leurs inconvénients, et le choix d'un capteur ou plusieurs pour la perception de l'environnement se fait selon des critères, on a cité parmi eux les quatre suivants :

1. On veut mesurer une distance éloignée, et les lasers, les RFID le permettront.
2. On veut vraiment être sûrs que rien ne s'approche du robot, dans ce cas, on a qu'à utiliser une ceinture de capteurs ultrasons qui couvrira mieux.
3. On a un petit robot, avec peu de place, pas beaucoup d'autonomie. Ici évidemment, les IR conviendront mieux.
4. Si on a des obstacles de différentes nature alors ni le laser, ni l'infrarouge, ni l'ultrason vont garantir leur détection à cause de leur sensibilité aux interférences d'où la nécessité d'utiliser un capteur qui n'a pas besoin de percevoir les objets mais être informé de leur présence. **Les capteurs RFID** sont le seul type de capteurs qui prennent en charge que l'information de présence d'un obstacle qui lui a transmis à l'aide d'une étiquette fixée sur cet obstacle.

1.5 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons donné un aperçu sur les différentes plateformes mobiles et leurs systèmes de perception. Ceci nous a permis de recenser les outils nécessaires pour faire naviguer un robot mobile, et de faire le choix du capteur qui convient au problème de localisation d'un robot dans un environnement d'intérieur pour accomplir la tâche de navigation de manière autonome.

Par ailleurs, en robotique mobile les balises et les lecteurs RFID sont déployées à des endroits fixes et connus dans l'environnement, et les coordonnées des différents points sont

enregistrées dans le robot. La localisation et la navigation de robots mobiles basée sur l'utilisation de cette technologie sera détaillée dans le chapitre 2 et 3 de ce mémoire.

Chapitre 2

Navigation et localisation basées sur la RFID

2.1 Introduction

Les Mouvements réussis et souhaitables de robots mobiles dépendent de la navigation réussie. La localisation est l'un des éléments les plus importants de la navigation de robots. En environnement intérieur comme à l'extérieur, la localisation du robot est comparativement une tâche difficile.

Il existe différentes stratégies utilisées pour la localisation de robot dans l'environnement d'intérieur en exploitant les avantages de différents capteurs étudiés dans le premier chapitre de ce mémoire, le laser, l'ultrason, l'infrarouge, et d'autres capteurs comme des dispositifs de localisation. De nombreuses techniques basées sur la technologie RFID sont également utilisées actuellement pour traiter le problème de localisation d'un robot en environnement d'intérieur, ces techniques seront détaillées dans ce chapitre.

2.2 Localisation

Les méthodes de localisation peuvent être divisées en trois catégories : relative, absolue et mixte [4].

2.2.1 Les méthodes de localisation relative

Elles consistent à prendre en considération l'ensemble des déplacements effectués par la plate-forme par rapport à un point de départ. Aucune référence à l'environnement extérieur n'est utilisée pour la localisation. Une technique possible est d'utiliser des encodeurs de roues pour mesurer les déplacements effectués par odométrie. Une difficulté est que cette technique est vulnérable aux erreurs de précision présentes sur chaque lecture des capteurs. Ces erreurs sont cumulées dans le temps, ce qui rend difficile ou même impossible d'utiliser seulement ces techniques pour dériver la position du robot.

2.2.2 Les méthodes de localisation absolue

Elles utilisent l'information provenant de balises ou de points de repères ayant des coordonnées connues et axes. Il est donc possible de calculer la position à partir des distances mesurées entre le robot et les balises. Différentes méthodes peuvent être appliquées : { Balises ultrasoniques). L'approche consiste à utiliser des balises équipées d'un système de communication par radiofréquences. Les balises sont à des positions connues et axes. A tour

de rôle, un minimum de trois émetteurs ultrasoniques envoie une onde ultrasonique. La synchronisation des différents systèmes est faite par le lien radio.

2.2.3 Méthodes de localisation mixte

Ces méthodes consistent à combiner la localisation relative et absolue. Par défaut, la localisation est faite de façon relative jusqu'à ce qu'une balise ou un point de repère, ayant une position connue, soit identifié. La position du robot peut alors être réinitialisée par rapport à des points absolus de l'environnement, diminuant les erreurs liées à la localisation relative dans la mesure où les repères sont uniques et précis

2.3 Évitement réactif d'obstacles sans trajectoire de référence

Le suivi de la trajectoire planifiée ne permet pas de garantir l'absence de collision. En effet, des collisions peuvent se produire lors de l'exécution de la trajectoire, dues à :

- Une localisation imparfaite,
- Un plan imprécis,
- Des obstacles qui n'étaient pas dans le modèle de l'environnement utilisé pour la planification de trajectoire.

Pour certains systèmes et dans certains contextes applicatifs, des méthodes d'évitement réactif d'obstacles ont été développées qui calculent des commandes permettant de rejoindre un point de passage en évitant les collisions avec les obstacles détectés.

2.3.1 Champs de potentiel

Elle consiste à construire une fonction de potentiel qui résume les objectifs de la navigation : éviter les obstacles et atteindre une configuration but. À chaque position du robot, une «force» résultant de l'action conjuguée des obstacles et du but est calculée, qui correspond à une direction à suivre par le robot.

2.3.2 Steering Angle Field (SAF)

Cette approche a été proposée par [1] pour un robot de type unicycle. Il s'agit de calculer pour un ensemble de vitesses linéaires des domaines de l'angle de braquage (SAF) qui n'entraînent pas de collision avec les obstacles perçus. Cette méthode utilise une discrétisation en grille du plan de travail autour du robot. Elle exploite la possibilité de pré-

calculer et de stocker dans des tables de recherche les SAF pour chaque cellule obstacle de la grille.

2.4 Localisation par capteur RFID

Récemment, des recherches ont été menées sur la localisation RFID de robot mobile à l'intérieur, où les étiquettes RFID sont utilisées comme points de repère artificiels ou balise artificielles. Un tag est facilement identifié par la récupération de son code d'identification à l'aide d'un lecteur RFID. L'ID tag peut être utilisé comme un indice pour retrouver la position exacte d'une balise d'une base de données. Alternativement, depuis de nombreuses étiquettes RFID ont leur propre mémoire, l'information de position de chaque balise peut être stocké sur l'étiquette, directement et lu par un lecteur RFID plus tard, ce qui élimine la nécessité d'une base de données centrale.

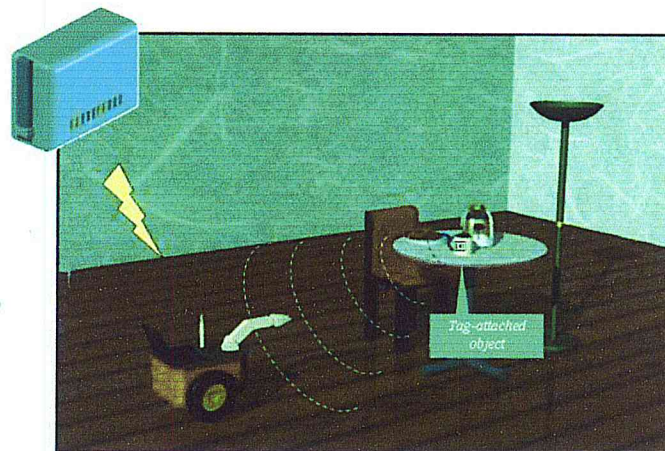


Figure 2-1 : Détection d'un tag collé sur la table

2.4.1 Systèmes RFID

Le lecteur RFID (Figure 2-2) est l'élément responsable de la lecture des étiquettes radiofréquence et de la transmission des informations qu'elles contiennent (code EPC ou autre, informations d'état, clé cryptographique...) vers le niveau suivant du système (middleware). Cette communication entre le lecteur et l'étiquette s'effectue en quatre temps :

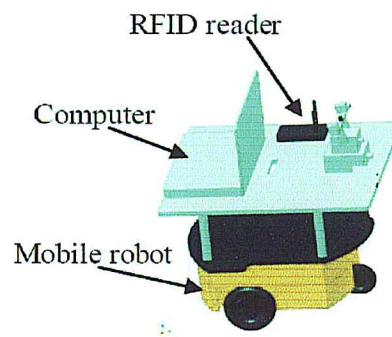


Figure 2-2 : Robot doté d'un capteur RFID

- a) Le lecteur transmet par radio l'énergie nécessaire à l'activation du tag
- b) Il lance alors une requête interrogeant les étiquettes à proximité
- c) Il écoute les réponses et élimine les doublons ou les collisions entre réponses
- d) Enfin, il transmet les résultats obtenus aux applications concernées

Par ailleurs, les étiquettes RFID peuvent être actives, qui ont une alimentation pour l'envoi de leurs réponses, ou passive, qui sont alimentés par l'énergie RF transféré du lecteur.

En général, les étiquettes actives sont plus fiables et plus coûteuses, et peut être lu sur une distance de quelques dizaines de mètres, tandis que les étiquettes passives sont moins fiables et moins coûteuses, et peut être lu sur une distance de quelques centimètres à quelques mètres.

2.4.2 Les applications de la navigation du robot mobile par RFID

Robot dans les chaînes d'assemblage : dans les usines, les chaînes de montage peuvent être dotées des étiquettes RFID collées sur les différents endroits où le robot censé récupérer les différentes pièces à assembler, le robot est aussi porteur d'un capteur RFID qui lui facilite la détection de tout ce qui est étiqueté. Par ailleurs, la détection rapide des pièces permet un gain en temps et en cout de fabrication.

Chaise roulante robotisée guidée : au Japon, la société Shimizu, a conçu un fauteuil roulant entièrement robotisé. Ce fauteuil est équipé de capteurs RFID qui analysent les conditions environnementales, détectent les dangers et lisent les informations des bâtiments voisins grâce à des étiquettes RFID. Ce fauteuil est parfaitement autonome, car il est capable de transporter les personnes en toute sécurité jusqu'à une destination prédéfinie.

Robot d'intérieur pour le guider les aveugles : pour améliorer la qualité de vie des personnes qui souffrent de la cécité, un robot doté d'un capteur RFID est à leur service pour les orienter à l'intérieur de leur appartement, tout les objets dans ces appartement sont étiquetés avec des tags RFID.

2.4.3 Travaux antérieurs

Récemment, l'utilisation des techniques RFID est en accélération dans de nombreuses applications liées à l'automatisation de contrôle. La localisation du robot mobile est également facilitée grâce à cette technologie.

Par ailleurs, les dernières années, les capteurs RFID ont attiré l'attention des chercheurs dans la robotique, et un certain nombre d'approches qui emploient cette nouvelle technologie pour les tâches de localisation a été développé et mis en œuvre.

2.4.3.1 Méthodes basé sur l'utilisation des étiquettes RFID actives [15]

Djugash et al. Ont utilisé des étiquettes RFID actives dans un environnement d'extérieur. Ils ont utilisé le temps de vol des signaux RF et le filtre de Kalman pour localiser le robot.

Tanaka et al. Ont utilisé des étiquettes RFID actives et un algorithme de localisation basé sur l'approche d'apprentissage supervisé.

Zhou et al. ont proposé une méthode de localisation en intérieur dans laquelle ils ont utilisé étiquettes RFID actives contenant des diodes laser comme repères. Ces diodes supplémentaires permettent l'activation sélective des étiquettes par un faisceau laser émis par le robot. Le calcul de distance entre un tag et un lecteur est basé sur le temps de vol des signaux RF.

2.4.3.2 Méthodes basé sur l'utilisation des étiquettes RFID passives [16]

Hahnel et al : l'un des premiers travaux sur la façon de localiser un robot mobile via la RFID, elle utilise un modèle probabiliste du capteur pour leur lecteur RFID, ce qui associe la probabilité de détecter une étiquette RFID avec la position relative de cette balise par rapport à l'antenne. La position de chaque balise a été représentée par un nombre de particules, dont les poids ont été mis à jour après chaque détection de la balise.

Han et al. ont mis en œuvre un système RFID, où les étiquettes ont été disposés de façon triangulaire afin de réduire l'erreur d'estimation de la position du robot.

Jing et Yang. ont présenté un algorithme de localisation efficace pour les systèmes RFID.

Kleiner et Nebel et al. Ont étudié l'utilisation des étiquettes RFID pour la coordination des équipes de robots dans l'exploration, au cours de laquelle les étiquettes ont été déployées de manière autonome.

Milella et al. ont également développé un système en utilisant des étiquettes RFID avec des caméras et a introduit un algorithme pour l'estimation portant efficace et en réduisant la complexité des calculs.

Park et al. ont également mis en œuvre les balises RFID passives pour la localisation du robot mobile sur une grille des étiquettes à distribution régulières.

Tsuki et al. dans leur travail les étiquettes RFID passives ont été utilisées comme points de repère pour rappeler le robot mobile de sa position et l'aider à décider le prochain mouvement. La précision de positionnement du robot dépend de la distribution des étiquettes RFID.

Yamano et al. Ils ont proposé une méthode de localisation RFID du robot à l'aide du Support Vector Machine.

Choi et al ont utilisé la fusion d'étiquettes RFID et des ultrasons capteur et dans un autre travail robot pour la localisation.

Jia et al ont utilisé la technologie RFID avec la vision stéréo.

Vorst et Zell ont présenté une méthode dans laquelle la localisation RFID a été basé sur le modèle probabiliste.

Kim et al. Ont développé un système RFID avec trois antennes orthogonales, qui détermine la direction d'une balise en comparant la force du signal dans chaque direction et mesure la distance tag-lecteur à l'aide du décalage de phase []. Imprécision peuvent survenir en raison du blocage du signal RF et les interférences.

Liu et al Ils ont démontré un système de tags UHF passifs qui exploite la direction des lecteurs RFID.

2.4.4 Comparaison des différentes méthodes de localisation basé sur la RFID

Les méthodes de localisation basées sur les étiquettes RFID actives sont des méthodes coûteuses vu leur prix ainsi que leur consommation d'énergie élevée ce qui rend leur utilisation destinée à des applications spécifiques.

Par ailleurs, la plupart des méthodes de localisation basées sur la RFID passive utilisent le principe d'association de deux capteurs au minimum, le premier est le capteur RFID et l'autre capteur est soit du laser, infrarouge, ultrason ou camera, ce qui augmente le coût de l'application, le temps de calcul pour les paramètres reçus de chaque capteur, l'encombrement du robot par ces capteurs.

Par contre certaines méthodes ont opté pour l'exploitation du capteur RFID uniquement, mais leur inconvénient réside dans leur complexité pour la localisation du robot, alors les applications RFID en robotique sont des applications réactives à contraintes temporelles impératives définies par l'environnement. Autrement dit, le robot doit interagir continuellement à la vitesse de son environnement qui peut être encombré ou à des obstacles à risque, ou exploité par plusieurs robots.

2.5 Conclusion

Dans ce chapitre on a donné une synthèse des différentes méthodes qui ont été menées dans le domaine de la localisation des robots mobiles à l'aide technologie RFID. On a discuté les différents problèmes liés à l'utilisation de ces méthodes dans des applications à contraintes strictes en termes de coût, temps et espace. Dans le chapitre qui suit, une approche très simple, moins coûteuse et moins encombrante sera définie pour combler les différents problèmes cités auparavant.

Chapitre 3

Contribution

3.1 Introduction

Récemment, la RFID a été utilisée pour la localisation et la navigation des robots mobiles [11][12]. Dans ce mémoire, nous proposons une méthode pour estimer à la fois les informations de localisation et de position d'un robot mobile en utilisant seulement d'identification par radiofréquence (RFID).

3.2 Notre Approche : Navigation Réactive par la RFID

L'idée principale consiste à exploiter la capacité d'un robot mobile pour naviguer dans un environnement a priori structuré sans l'utilisation de capteurs supplémentaires et sans construire une carte approximative de l'espace du robot, comme c'est le cas dans la plupart des algorithmes de navigation [13]. Cela est réalisé en plaçant des étiquettes RFID dans l'environnement, et les coordonnées de ces étiquettes sont enregistrées dans le robot. L'algorithme proposé est capable d'atteindre un point cible dans son espace de travail.

3.2.1 Critères de notre approche

Avant d'entamer la mise en œuvre de notre application, il sera judicieux de définir les critères selon lesquelles sera appliqué notre algorithme de navigation.

- Robot est de type unicycle, c'est le seul à exécuter la tâche de navigation réactive dans l'environnement.
- Environnement est de type intérieur
- Terrain lisse
- Obstacles sont stationnaires.
- Les étiquettes RFID sont passives
- Le robot est doté d'un seul lecteur RFID type UHF (avec rayon de champ de détection R)

L'efficacité de l'approche proposée est illustrée par un certain nombre de simulations informatiques dans le chapitre suivant.

3.2.2 Méthode de localisation et estimation de position du robot

Dans la navigation d'un robot mobile, il existe deux facteurs importants: la localisation et l'estimation de la position. Par conséquent, nous avons cherché à estimer la position du robot au cours de la navigation grâce à l'utilisation des fonctions trigonométriques et les coordonnées cartésiennes de la distribution des étiquettes RFID.

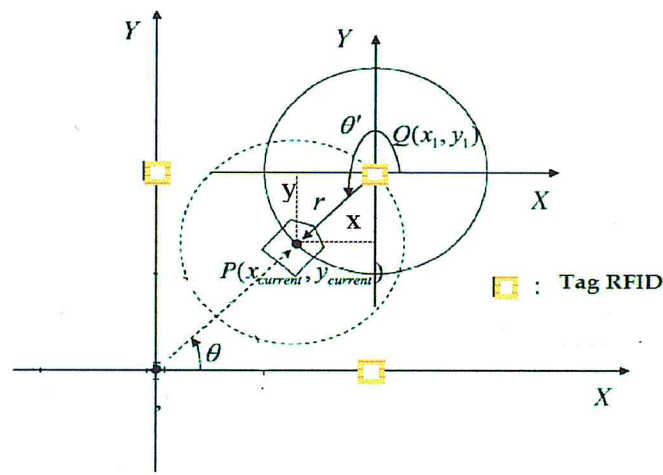


Figure 3-1 : Localisation du robot

Quand le robot détecte un nouveau tag, comme indiqué dans la Figure 3-1, nous pouvons localiser le robot par ces les coordonnées cartésiennes, en utilisant les équations ci-dessus. La distance du robot par rapport le tag est r , elle est récupérée à partir du capteur RFID, et cette distance est peut être calculée à partir des coordonnées cartésiennes du robot par rapport le repère du tag.

$$x = r \cos \theta \quad (1)$$

$$y = r \sin \theta \quad (2)$$

$$r = \sqrt{x^2 + y^2} \quad (3)$$

$$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{y}{x} \right) \quad (4)$$

Où θ est l'angle entre le tag et l'axe des X. et les nouvelles coordonnées du robot par rapport le repère (0,0) sont données par les équations (5) et (6) :

$$x_{current} = r \cos \theta' + x_1 \quad (5)$$

$$y_{current} = r \sin \theta' + y_1 \quad (6)$$

θ' est l'angle dans le sens antihoraire de l'axe X positif par rapport le nouveau repère du tag détecté. x_1 et y_1 sont les coordonnées du tag détecté, elles sont stockées dans la mémoire de l'étiquette.

3.2.3 Méthode de navigation en évitant les obstacles étiquetés

3.2.3.1 Navigation dans un environnement à obstacles éloignés

Dans ce cas les tags sont placés sur des obstacles éloignés, la distance entre ces tags est un multiple du R champ RF de l'antenne du capteur RFID, pour que les tags ne rentrent pas en même temps dans le champ du capteur. L'évitement d'obstacle se fait tout simplement par une déviation du tag détecté.

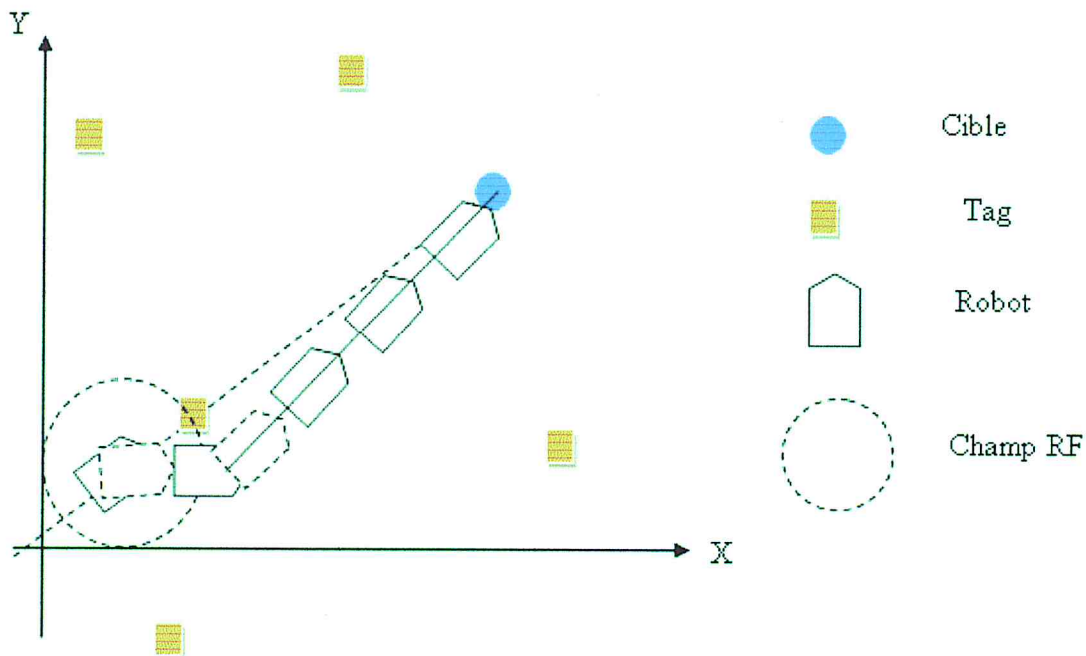


Figure 3-2 : Cas des obstacles éloignés

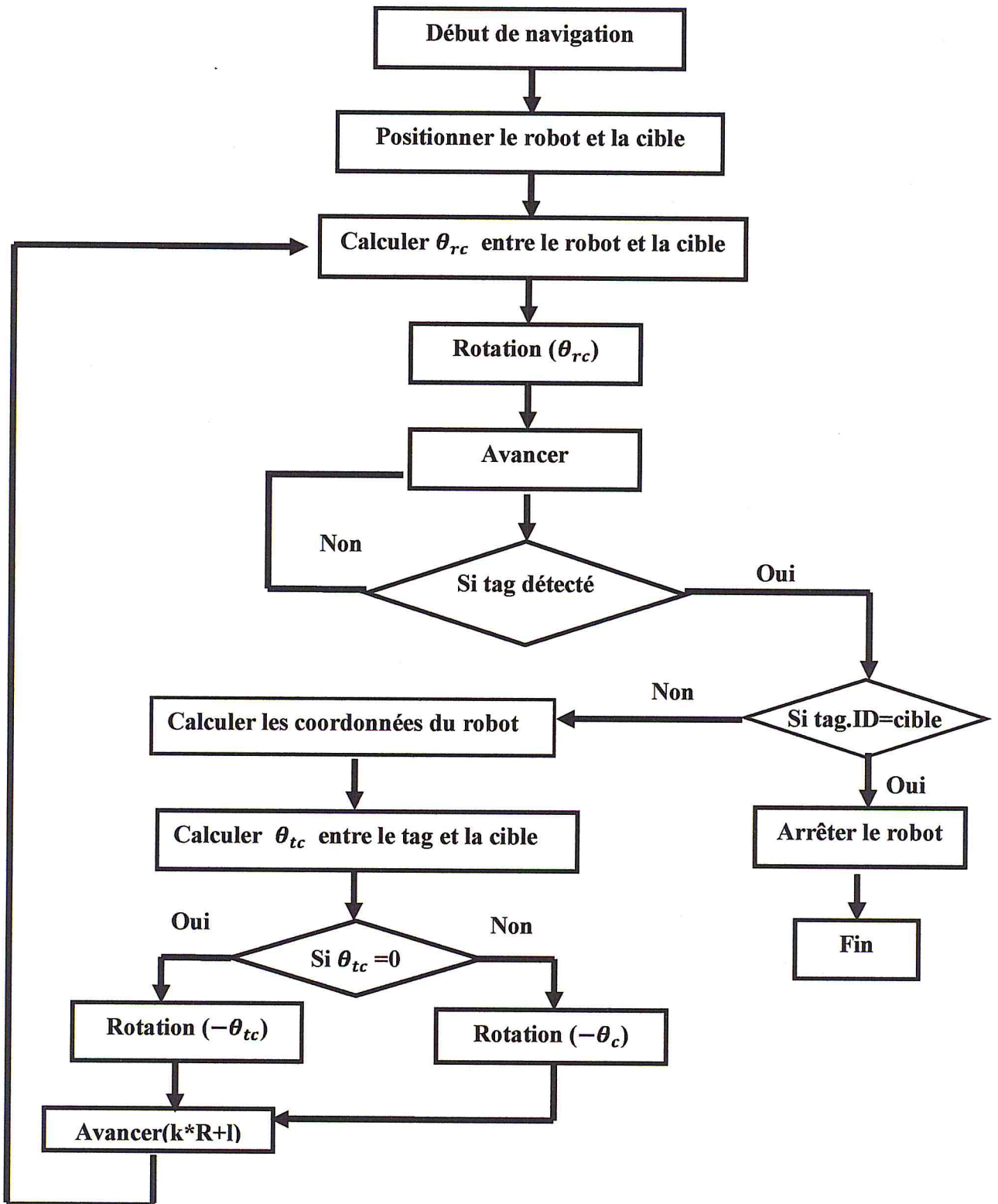
3.2.3.1.1 Evitement d'obstacle et atteinte de la cible :

Pour atteindre la cible et réussir la navigation avec un évitement d'obstacle, les instructions suivantes seront exécutées :

1. Positionner les tags RFID en stockant leurs coordonnées par rapport le repère (0,0), et leurs angles par rapport l'axe des X.

2. Positionner le robot la source (X_0, Y_0)
3. Positionner la cible à (X_c, Y_c)
4. Calculer l'angle du robot par rapport la cible $\theta_{rc} = \tan^{-1} \left(\frac{y_c - y_r}{x_c - x_r} \right)$
5. Faites une Rotation de θ_{rc} pour orienter le robot vers la cible
6. Avancer vers la cible tant qu'il n'y a pas un Tag
7. Si un Tag est détecté alors
8. Vérifier si celui de la cible, si oui alors aller à 17
9. Sinon calculer la position du robot par rapport au coordonnées du tag détecté à une distance égale à r. la position est donné par : $X_r = r \cos \theta_t + X_t$, $Y_r = r \sin \theta_t + Y_t$,
10. Calculer l'angle entre le tag détecté et la cible $\theta_{tc} = \theta_c - \theta_t$
11. Si $\theta_{tc} = 0$ alors
12. Rotation de $-\theta_c$
13. Avancer de $k \cdot R + 1$ (l longueur du robot)
14. Aller à 4
15. Sinon Rotation de $-\theta_{tc}$
16. Aller à 14
17. Fin

Organigramme : Cas obstacles éloignés



Pseudo –Algorithme**Navigation****Debut**

$x_1 =$

$\theta_{rc} = \tan^{-1} \left(\frac{y_c - y_r}{x_c - x_r} \right)$ **/**** Calculer l'angle du robot par rapport la cible

Rotation (θ_{rc}) **/**** Orienter le robot vers la cible

Avancer() **/**** Avancer le robot vers la cible

tagID = value.TagID **/*** valeur récupéré du capteur

tagData =value.TagData

detected = value.Detected

tagname=value.TagEntityName

distance=value. Distance

Si detected **alors** **/**** Si un ou plusieurs Tags sont détectés

DSI

Si tagID==cibleID **alors** **/**** Si la cible est détectée

Arreter() **/**** Arrêter le robot

Sinon**DSI**

$r = distance$ **/*** valeur récupéré du capteur RFID

$\theta' = \theta_t$ **/*** θ_t l'angle entre le tag et l'axe X

$x_r = r \cos \theta' + x_t$ **/*** x_r et y_r sont les coordonnées du robot

$y_r = r \sin \theta' + y_t$ **/*** x_t et y_t sont les coordonnées des tags

$\theta_{tc} = \text{MesureAngle}(\text{tagname}, \text{cible})$

Si $\theta_{tc} = 0$ **alors**

DSI

Rotation ($-\theta_c$)

AvancerD(robot, k*R+1) **/*** 1 est la longueur du robot, K est un entier

FSI**Sinon****DSI**

Rotation ($-\theta_{tc}$)

AvancerD(robot,K*R+l)

FSI

Navigation()

FSI

FSI

Fin

3.2.3.2 Navigation dans un environnement à obstacles proches

Dans ce cas les tags sont placés sur des obstacles proches, la distance entre ces tags est égale au minimum au diamètre du champ RF du capteur RFID qui égale à $2R$ (Figure 3-3). Cette distance permet de s'éviter les obstacles dans un champ RF sans perturber le déplacement du robot par la détection répétée des mêmes tags qui pose un problème de collision forte, ce type de problème ne sera pas pris en charge par notre approche qui est destinée à la localisation et la navigation du robot mobile dans un environnement d'intérieur structuré.

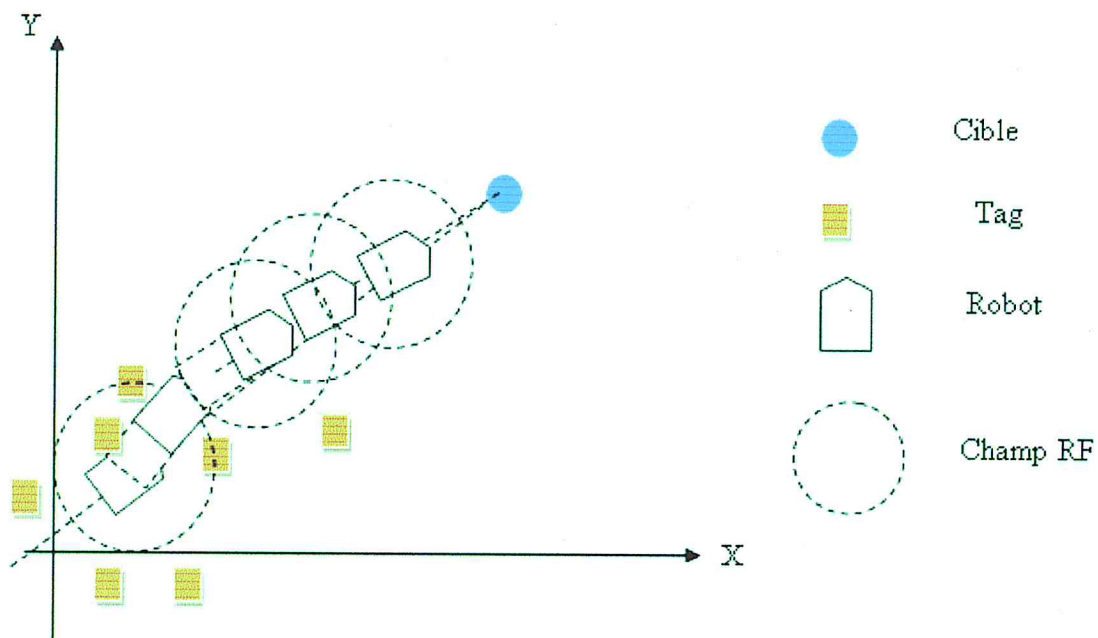


Figure 3-3 : Cas des obstacles proches

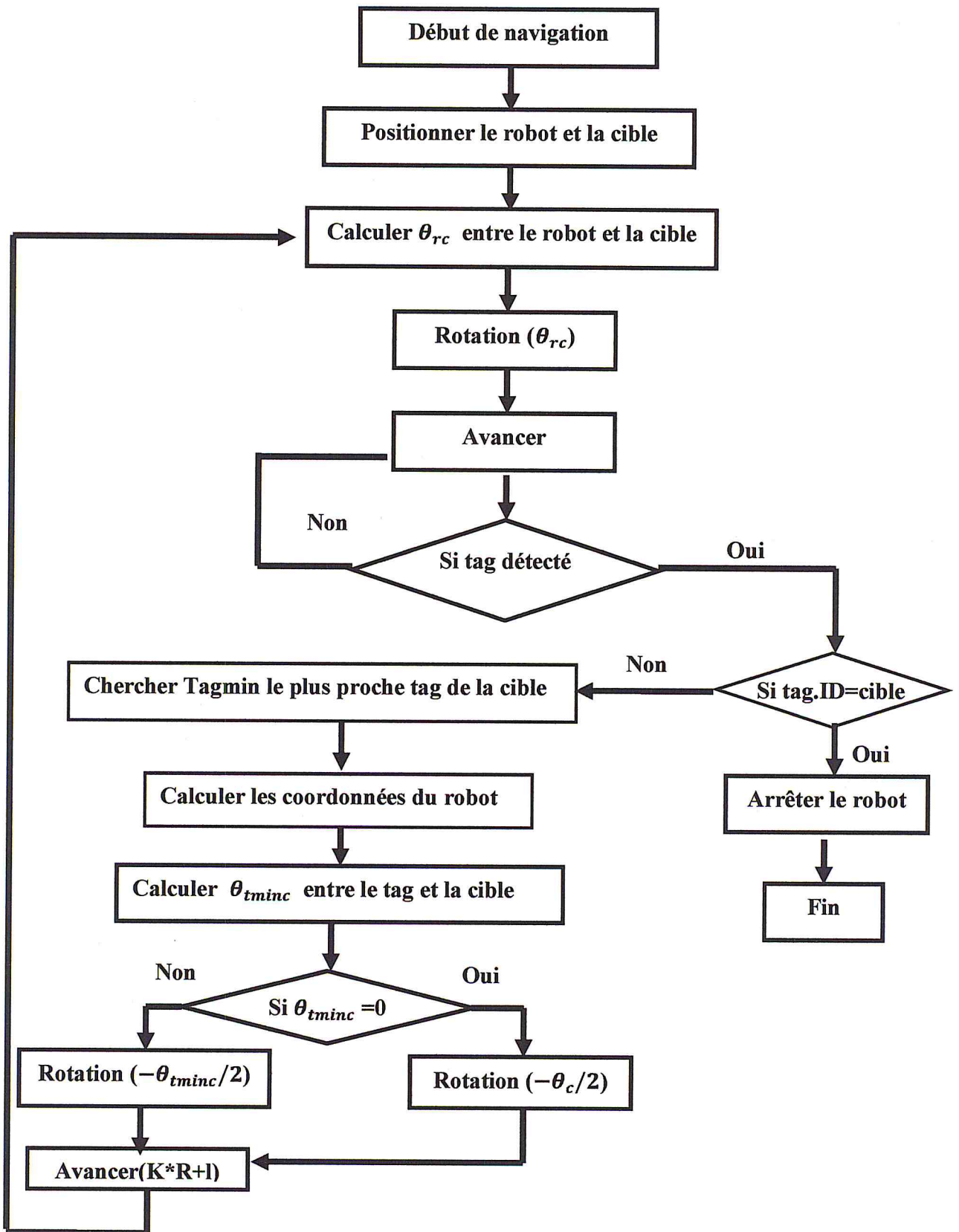
3.2.3.2.1 Evitement d'obstacle et atteinte de la cible :

Pour atteindre la cible et réussir la navigation avec un évitement d'obstacle, les instructions suivantes seront exécutées :

1. Positionner les tags RFID en stockant leurs coordonnées par rapport le repère $(0,0)$, et leurs angles par rapport l'axe des X, ainsi que leurs distances par rapport la cible.
2. Positionner le robot la source (X_0, Y_0)
3. Positionner la cible à (X_c, Y_c)
4. Calculer l'angle du robot par rapport la cible $\theta_{rc} = \tan^{-1} \left(\frac{y_c - y_r}{x_c - x_r} \right)$

5. Faites une Rotation de θ_{rc} pour orienter le robot vers la cible
6. Avancer vers la cible tant qu'il n'y a pas un Tag
7. Si un ou plusieurs Tags sont détectés alors
8. Vérifier si celui de la cible, si oui alors aller à 18
9. Sinon chercher le tag le plus proche de la cible
10. Sinon calculer la position du robot par rapport au coordonnées du tag détecté à une distance égale à r . la position est donné par : $X_r = r \cos \theta_t + X_t$, $Y_r = r \sin \theta_t + Y_t$,
11. Calculer l'angle le tag le plus proche et la cible $\theta_{tminc} = \theta_c - \theta_{tmin}$
12. Si $\theta_{tminc} = 0$ alors
13. Rotation de $-\theta_c/2$
14. Avancer de $k \cdot R + l$ (l longueur du robot)
15. Aller à 4
16. Sinon Rotation de $-\theta_{tminc} / 2$
17. Aller à 15
18. Fin

3.2.3.2.2 Organigramme : Cas d'obstacles proches



Pseudo –Algorithme**Navigation****Debut**

Min=distance(source, cible)

$\theta_{rc} = \tan^{-1} \left(\frac{y_c - y_r}{x_c - x_r} \right)$ /** Calculer l'angle du robot par rapport la cible

Rotation (θ_{rc}) /** Orienter le robot vers la cible

Avancer() /** Avancer le robot vers la cible

Tans que tag.detected **faire** /** Si un ou plusieurs Tags sont détectés

DTQ

Si tagID==cibleID **alors** /** Si la cible est détectée

 Arreter() /** Arrêter le robot

Sinon**DSI**

Si distance(tagname, cible) < Min **alors**

DSI

 Min= distance(tagname, cible)

 MinTag=Tagname

FSI**FSI****FTQ**

$r = distance$ /* valeur récupéré du capteur RFID

$\theta' = \theta_{tmin}$ /* θ_t l'angle entre le tag et l'axe X

$x_r = r \cos \theta' + x_t$ /* x_r et y_r sont les coordonnées du robot

$y_r = r \sin \theta' + y_t$ /* x_t et y_t sont les coordonnées des tags

$\theta_{tminc} = \text{MesureAngle}(\text{MinTag}, \text{cible})$

Si $\theta_{tminc} = 0$ **alors**

DSI

 Rotation ($-\theta_c/2$)

 AvancerD(robot,R)

FSI**Sinon**

DSI

Rotation ($-\theta_{tminc} / 2$)

AvancerD(robot,R)

FSI

Navigation ()

Fin

3.3 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons décrit la méthode qu'on a utilisée pour la localisation et la navigation d'un robot mobile doté d'un capteur RFID dans un environnement structuré avec des étiquettes RFID. Ensuite, on a parlé des différents critères pour réussir la navigation avec cette méthode avec évitements d'obstacles. Le prochain chapitre sera consacré à la description de l'implémentation des différentes procédures et structures utilisées pour la simulation de notre méthode.

Chapitre 4

Implémentation

4.1 Introduction

Actuellement on utilise de nombreux robots dans les laboratoires pour tester les algorithmes avant de les appliquer à l'environnement réel. En effet, plusieurs difficultés existent lorsqu'il s'agit de travailler directement sur les robots. On utilise donc les simulateurs, qui permettent de reproduire toutes ou une grande partie des caractéristiques matérielles et actions du robot.

Par Contre, il y a plusieurs limitations quand on travaille directement sur les robots réels, leurs mémoires limitées nous font perdre beaucoup de temps pour tester les algorithmes et les tâches affectés au robot, alors un simulateur est très nécessaire, il permet aux programmeurs de créer une variété des environnements, avec les objets comme les murs, les obstacles, de plus, ils permettent de simuler plusieurs types de robots, de capteurs et des actionneurs. Alors, Les simulateurs sont très utiles pour travailler sans robot réel et ils assurent l'exactitude de fonctionnement des programmes. En outre, il n'y a pas beaucoup de différence entre les résultats obtenus sur le simulateur et celles du robot réel.

4.2 Notre Application

Notre but est de construire une application pour la validation et le test d'algorithmes appliqués à la navigation réactive du robot mobile de type unicycle, en utilisant les capteurs sans fils (Laser, RFID,...).

4.2.1 Outils de développement

Nous avons d'abord commencé à développer un système de navigation avec Java 3D sous eclipse mais vu la difficulté dans la programmation et la conception des scènes et des objets complexes, nous avons été contraint de changer d'outils et de recommencer le travail avec SPL (Simple Programming Language) qui utilise MSRDS comme environnement de simulation.

4.2.1.1 Microsoft Robotics Developer Studio (MSRDS)

La plateforme de développement *Microsoft Robotics Developer Studio* (MSRDS) a pour objectif de faciliter le développement d'applications robotiques [18]. Elle prend en charge diverses configurations matérielles de robots. Elle comporte un *runtime*, un environnement de développement et des outils de simulation. Il s'appuie sur le [Framework](#)

.NET (ceci permet d'abstraire le système d'exploitation pour l'application. Il propose une architecture orientée « services » composée de deux modules : CCR et DSS.

Le CCR (concurrency and coordination runtime), est une librairie managée (.DLL) accessible depuis n'importe quel langage .NET qui permet d'abstraire les difficultés inhérentes à la programmation multithread en robotique. Il gère l'exécution asynchrone et parallèle des divers éléments de l'application robotique. Ainsi on n'a pas besoin lors du développement de gérer manuellement la synchronisation des diverses tâches et l'on peut envisager la prise en compte d'évènements asynchrones provenant de capteurs et la prise en charge de commandes de moteurs et d'actionneurs liées à ces évènements [].

Le DSS est un environnement d'exécution qui s'appuie sur le CCR et qui permet d'exécuter les services que l'on a réalisés à l'aide de Microsoft Robotics Studio. DSS expose de manière standardisée des services qui peuvent être utilisés par un autre programme, un autre service ou une interface utilisateur. Dans le cadre de ce modèle, un service peut représenter :

- Un composant matériel (hardware) comme un capteur ou un actuateur.
- Un composant logiciel de l'interface utilisateur (comme une fenêtre de commande), un répertoire, un élément de stockage...
- Une agrégation d'éléments précédents.

4.2.1.1.1 Les Outils de Développement d'une Application MSRDS

Les outils permettant de développer une application MSRDS comportent un environnement graphique (Microsoft Visual Programming Language : VPL), des outils en ligne de commande permettant de générer et manipuler des projets et fichiers Visual Studio (la version Express de VS suffit) en C#, C++ ou VB.NET), le support pour des langages de script tels qu'IronPython et des outils de simulation 3D.

1. **Le Visual Programming Language (VPL)** est une autre brique livrée avec Microsoft Robotics Studio. Il s'agit d'un environnement de programmation visuel générant le code .Net. Visual Programming Language s'appuie donc sur DSS et le CCR. Le code .Net généré peut être ouvert et modifié avec Visual Studio (l'environnement de développement professionnel de Microsoft), de même un programme réalisé par code à l'aide de Visual Studio est chargeable dans VPL.

2. **Le Visual Studio** est l'environnement de développement logiciel Microsoft. Robotics Studio se contente de la version gratuite (Express) de cette suite de développement pour permettre le développement de nouveaux services en C#, C++, JScript, IronPython ou VB.NET.
3. **Simple Programming language (SPL)** ce langage a été appelé dans notre application pour simuler notre système de navigation dans le framework MSRDS, sa structure basé sur l'aspect orienté objet de C# nous a offert une très grande souplesse et réutilisabilité des différents composants de cet environnement.

4.2.2 Présentation du SPL

SPL (langage de programmation simple) est le résultat d'un projet open source qui vise à aider les novices et les débutants de commencer la programmation avec facilité en simplifiant les codes complexes à un script simple [17].

Ce projet a été lancé en Juin 2009 et a terminé sa première phase en Juin 2010. Le but essentiel de SPL est de pouvoir coupler facilement entre la simplicité des scripts et le plaisir de créativité. Cela rend SPL particulièrement adapté pour la création d'applications à base de la composition de commandes et des expressions, et ce, indépendamment de l'outil d'exécution de ces scripts (PC, téléphone mobile, ou d'une carte embarquée). Ce qui en résulte une grande flexibilité pour l'écriture simple d'une large gamme d'applications.

4.2.3 Structure d'un programme SPL

Le script SPL est composé de deux éléments;

- La première est la partie d'expression
- La deuxième est la partie commande et option

4.2.3.1 Partie d'expression

La partie d'expression SPL est presque identique avec le modèle de codage JavaScript sauf la définition de la procédure. La partie d'expression SPL s'inspire des langages comme le BASIC et Python qui n'a pas besoin de vérifier les données ou le type de variable lorsqu'ils sont au sein de script. Bien que le SPL est basé sur la grammaire du

langage C, il fournit un certain nombre d'utilitaires et de fonctions mathématiques afin que l'on puisse utiliser ces ressources comme dans la programmation Java ou C #.

Ci-dessous un script qui montre comment implémenter une simple fonction avec SPL script.

```
a = 10
```

```
b = 20
```

```
c = Sum(a, b)
```

```
print "Sum is " + c
```

```
Procedure Sum(a1, b1)
```

```
return a1 + b1
```

```
End
```

4.2.3.2 Partie commande et option

En fait, la simplification des modèles du codage est la principale clé caractéristique du SPL parmi les autres caractéristiques. Dans le script SPL, on peut définir un ensemble d'objets ou d'entités complexes en utilisant simplement les modèles de commande & option.

SPL Commande

```
/option1:valuel
```

```
/option2:value2
```

4.2.3.3 Différentes commandes et méthodes SPL utilisées dans notre application

AddDifferentialDriveEntity Elle ajoute un robot de type différentiel.

| Membres | Commentaires |
|-------------|--|
| Position | la position initiale du robot par rapport le repère(x,y,z) |
| Orientation | L'orientation initiale du robot |
| Dimension | La dimension du robot en mètre |

AddRFIDReader Elle ajoute un capteur RFID au robot.

| Membres | Commentaires |
|-------------|--|
| /ReaderID | ID du capteur RFID |
| Position | Position du robot |
| MaxDistance | Rayon du champ de l'antenne du capteur |
| IsKinematic | False si le capteur est en déplacement avec le robot |
| Position | Position du capteur |
| Orientation | Orientation capteur |

AddRFIDTag elle crée les tags sur les objets

| Membres | Commentaires |
|--------------|---|
| ParentEntity | Entité à laquelle est attaché le tag RFID |
| Position | Position du tag |
| Orientation | Orientation du tag |
| TagData | Donnée stocké dans le tag |
| IsKinematic | False si le tag en déplacement avec l'entité à laquelle est attaché |

AddNewEntity : elle s'occupe de la création des objets

| Membres | Commentaires |
|-------------|------------------------|
| Position | Position de l'objet |
| Orientation | Orientation de l'objet |
| Dimension | Dimension de l'objet |

| | |
|---------------------|---|
| Texture | Texture de l'objet |
| ParentEntity | L'entité à laquelle est attaché l'objet |

4.3 Procédures développées

Les principales procédures utilisées dans notre application sont regroupées par catégorie comme suit :

4.3.1 Procédures liées au robot :

Procédure AddDifferentielRobot(myrobot) la procédure qui crée un robot de type unicycle dans l'environnement.

Procédure AddRFIDSensor("myrobot") la procédure qui ajoute un capteur RFID au robot.

Procédure Avancer("myrobot") elle assure le déplacement du robot vers la cible.

Procédure AvancerdeD("myrobot",d,v) la procédure qui assure le déplacement du robot en argument d'une distance d avec une vitesse v, GoTo(d, v)

Procédure Avancerchamp("myrobot",R) la procédure qui fait avancer le robot d'une distance R dans le champ RF de son capteur.

Procédure Arrêter("myrobot") qui arrête le mouvement du robot.

Procédure Rotation ("myrobot",t,v) la procédure qui fait tourner le robot en argument à une vitesse v et un angle t.

4.3.2 Procédures liées à la stratégie de navigation

4.3.2.1 Procédures liées à l'environnement de navigation

Procédure AddWindow elle affiche la fenêtre de simulation

Procédure procdraw("myrobot") la procédure qui trace la trajectoire du robot en argument

Procédure AddObstacles() elle ajoute les obstacles dans l'environnement.

Procédure AddRFIDTagX() elle fixe les tags sur les obstacles de l'environnement.

Procédure Removeall() Elle supprime tous les objets dans l'environnement.

Procédure `MesurePosition(myrobot)` Elle calcule la position du robot par rapport les tags détectés.

Procédure `MesureOrientation(myrobot)` Elle mesure l'angle entre le robot et l'axe des X.

Procédure `Mesureangle("myrobot","cible1")` elle mesure l'angle entre la cible et le robot.

Procédure `Creationtagobstacle(z,x)` elle crée des obstacles avec leurs étiquettes.

Procédure `AddWalls()` Elle ajoute des murs dans l'environnement.

Procédure `AddMaze()` Elle crée un environnement de type labyrinthe.

Procédure `cible(cible1)` procédure pour ajouter la cible en argument dans la scène.

4.3.2.2 Procédures liées à la stratégie de navigation

Procédure `NavigationObstacleE (myrobot,cible)` procédure qui s'occupe de la navigation du robot en argument vert une cible dans le cas des obstacles éloignés.

Procédure `NavigationObstacleP (myrobot,cible)` procédure qui s'occupe de la et la navigation du robot en argument vert un cible dans le cas des obstacles.

Procédure `Navigation(myrobot,cible,R,l,D)` procédure qui s'occupe de la et la navigation du robot en argument vert une cible avec les paramètres en argument, l longueur du robot, R champ du capteur, et D distance minimum entre les obstacles

Chapitre 5

Résultats

5.1 Résultats de simulation

5.1.1 Ajout d'un robot de type unicycle

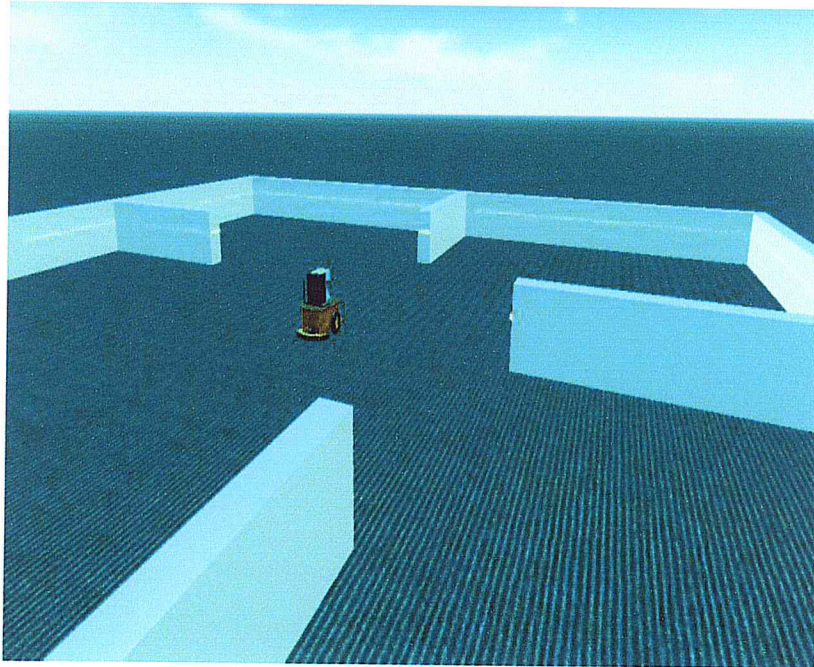


Figure 5-1 : Robot différentiel

Le robot de cette image est le robot P3DX, il appartient à la classe de type unicycle.

5.1.2 Ajout des obstacles



Figure 5-2 : Obstacles dans la scène

5.1.3 Ajout d'un lecteur RFID

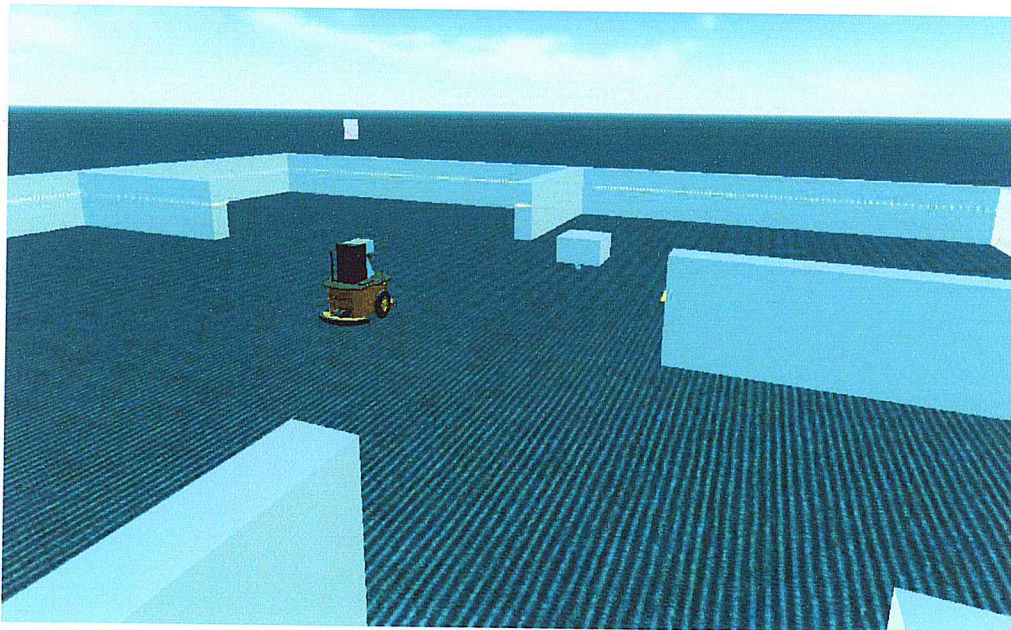


Figure 5-3 : Intégration d'un capteur RFID

Le Capteur RFID est simulé par un carrée gris dans la scène

5.1.4 Ajout des étiquettes RFID

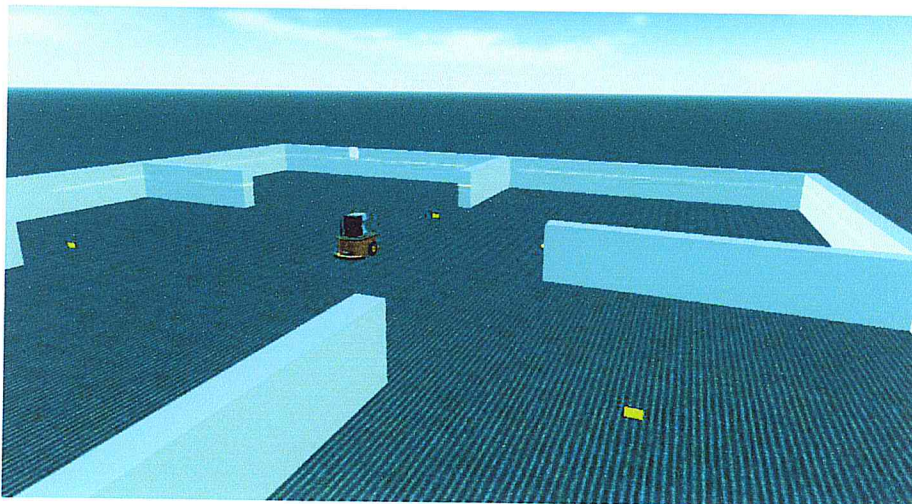


Figure 5-4 : Ajout de tags dans l'environnement

Les Tags RFID dans la scène sont les petits carrés en jaunes.

5.1.5 Navigation autonome et évitement des obstacles



Figure 5-5 : Détection des tags RFID

La détection d'un Tag RFID est signalée par l'affichage d'un message.

5.1.6 Navigation : cas des obstacles proches

Cas Navigation avec succès :

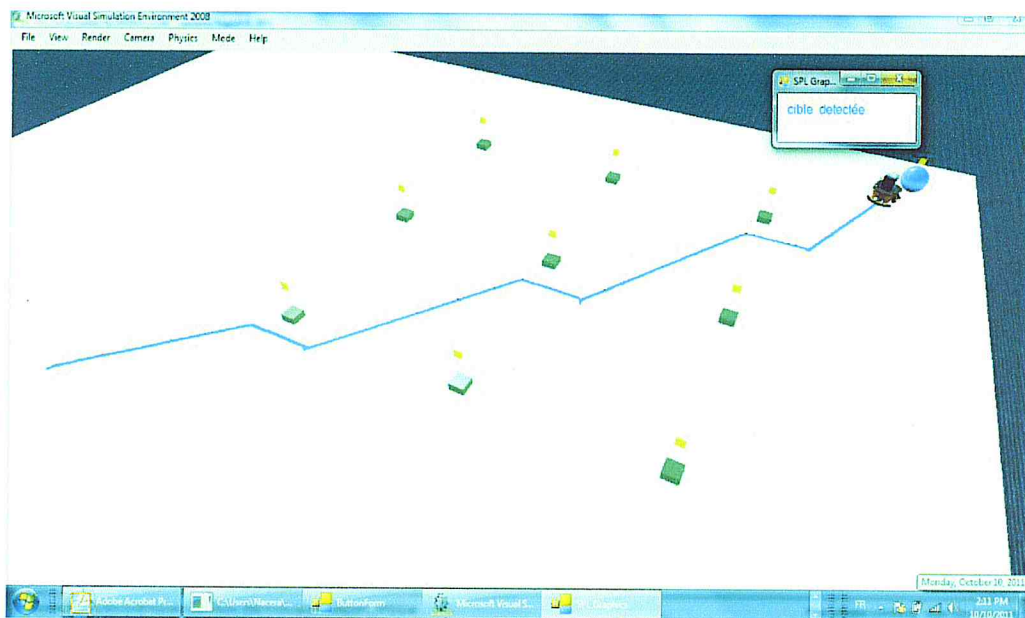


Figure 5-6 : Navigation : tags proches

Dans ce cas la distance D entre les obstacles est toujours supérieure au champ de l'antenne du capteur RFID R du robot. $D = 3R$

La détection de la cible est signalée par l'affichage d'un message.

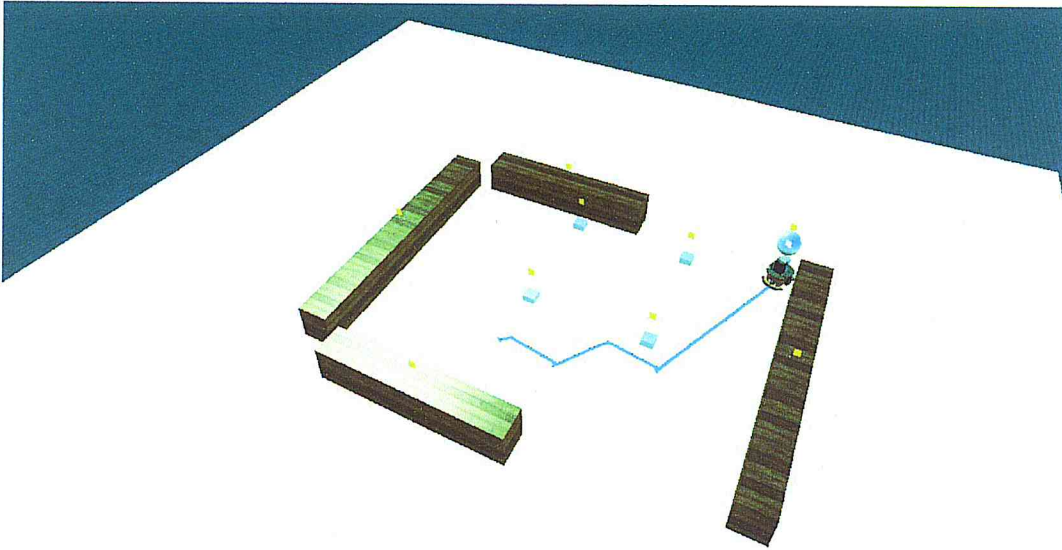
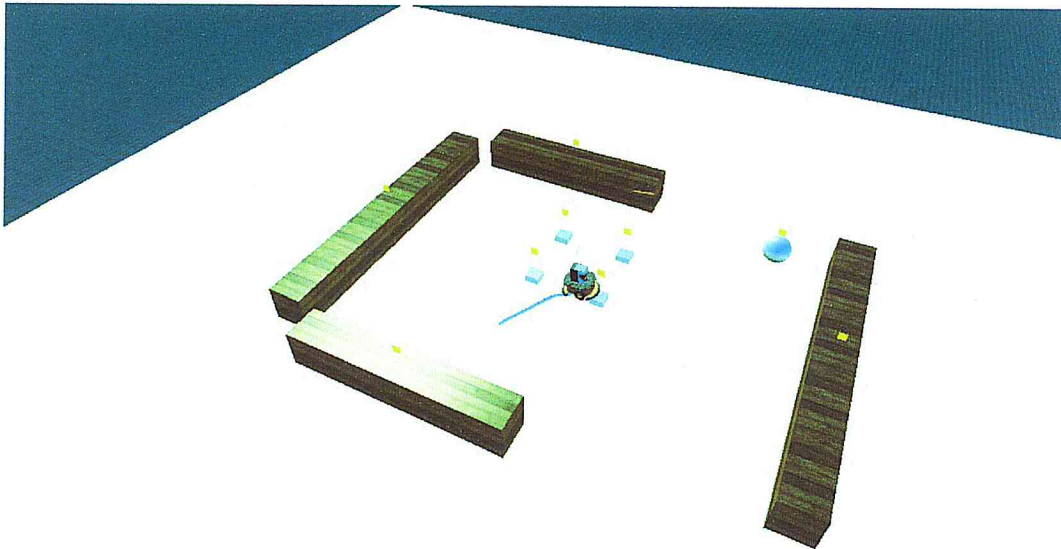


Figure 5-7 : cas des obstacles proches

Cas échéant :



Dans ce cas la distance D entre les tags est égale au champ de l'antenne du capteur RFID, ce qui a produit une collision dès la première détection d'un tag $D=R$.

5.1.7 Navigation : cas des obstacles éloignés

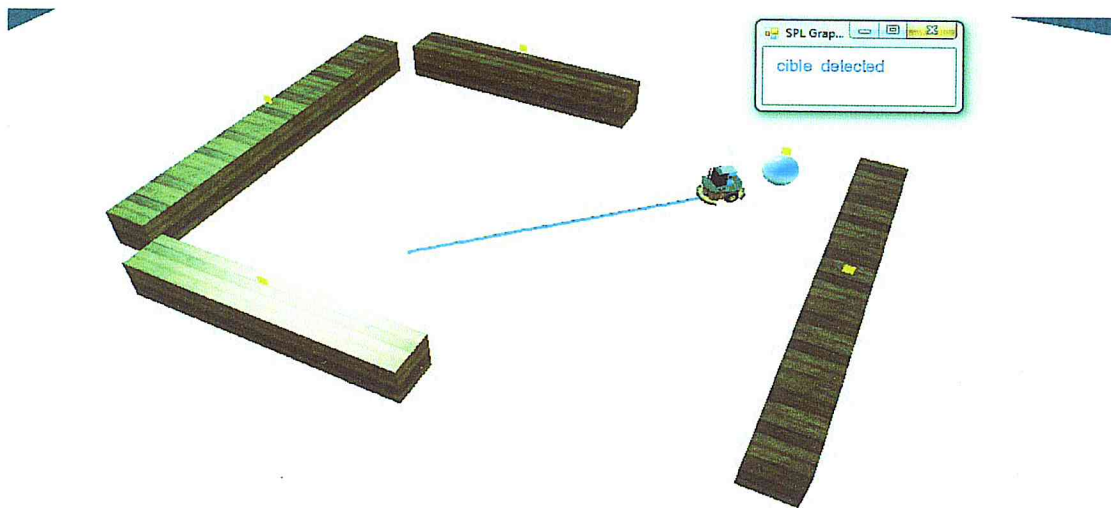


Figure 5-8 : Navigation tags éloignés

La cible a été détectée rapidement dans un environnement constitué de quatre murs étiquetés et éloignés. la distance entre les tags collés sur les murs est un multiple du champ de l'antenne $D=4R$.

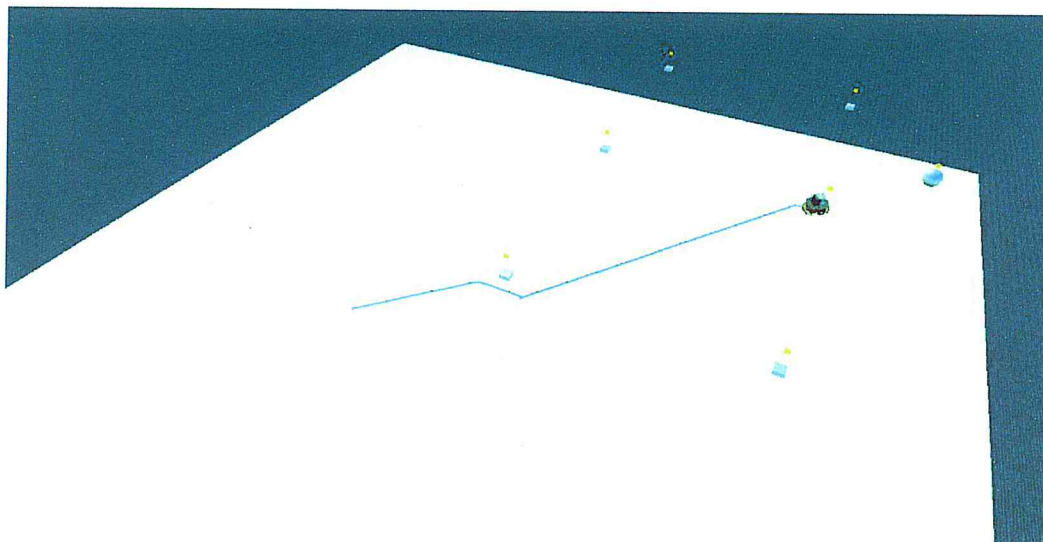


Figure 5-9 : Tag éloignés avec échec

Dans ce cas le champ de l'antenne égale à 1 longueur du robot $R=1$ ce qui ne donne pas le temps pour le robot de faire une rotation.

5.1.8 Discussion des résultats obtenus :

Pour réussir la navigation avec la stratégie développée les contraintes suivantes doivent être respectées:

- le champ RF $R = k \cdot l$, l est la longueur du robot
- $D = N \cdot R$, D c'est la distance entre les tags, K et N sont des entiers.

5.2 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté les différents simulateurs de robots mobiles les plus utilisés pour développer un contrôleur de robot en mode 3D. Le langage SPL nous semble l'outil le plus approprié pour le développement rapide d'un environnement de simulation 3D pour les robots mobile, et ce, grâce à sa large gamme de capteurs (ultrasons, laser, infrarouge, RFID), et son interaction avec le simulateur MSRDS.

Par ailleurs, La stratégie de navigation appliquée peut réussir dans un contexte précis, c'est le contexte des environnements structurés à obstacles stationnaires et robot de type unicycle à un seul capteur RFID et sans la présence d'autres robots ou capteurs.

Conclusion générale

Dans ce mémoire, notre travail a porté essentiellement sur la stratégie de navigation réactive d'un robot mobile dans un environnement d'intérieur structuré. Dans un premier temps, nous avons donné un aperçu sur les différentes plateformes mobiles et leurs systèmes de perception. Ceci nous a permis de recenser les outils nécessaires pour faire faire mouvoir un robot mobile dans un environnement d'intérieur, et de comprendre le mode de locomotion et localisation du robot dans son environnement.

Par ailleurs, nous avons essayé d'introduire l'une des technologies sans fil émergentes à savoir, la technologie RFID qui connaît un essor très important vu les nombreuses applications existantes et qui seront probablement innombrables dans le futur. Cette technologie se distingue par l'utilisation de l'électromagnétisme comme noyau principal pour surmonter les contraintes des autres technologies d'identification. La RFID présente aussi d'autres points forts notamment de sa capacité à se fusionner et s'adapter avec le monde informatique (réseaux, algorithmes, etc.). Ensuite, nous avons décrit le volet navigation d'un robot mobile dans un environnement structuré d'intérieur où nous avons parlé des différentes techniques de localisation du robot mobile, ainsi que les techniques d'évitement d'obstacles. Une approche a été proposée pour la navigation réactive d'un robot mobile en utilisant la technologie sans fil moyennant les lecteurs et les Tags passifs RFID.

Enfin, nous avons présenté les différents simulateurs de robots mobiles les plus utilisés pour développer un contrôleur de robot en mode 3D. Pour cela, nous avons fait appel au langage SPL pour le développement rapide d'un environnement de simulation 3D pour les robots mobile, et ce, grâce à sa large gamme de capteurs (ultrasons, laser, infrarouge, RFID), et son interaction avec le simulateur MSRDS. Ayant obtenu des résultats satisfaisants en ce qui concerne la détection des Tags RFID pour la localisation du robot, nous pouvons dire que cette technologie est moins couteuse car elle ne nécessite pas l'intégration d'autres capteurs et elle est moins encombrante. Ceci permet au robot de se déplacer dans son environnement sans aucune trajectoire de référence prédéfinie, car il est informé d'une manière dynamique de sa position via les données provenant de lecteurs et des étiquettes RFID détectées.

En perspective, nous allons essayer d'acquérir des lecteurs et des Tags RFID afin d'implémenter cette stratégie sur un contrôleur de type orienté objet qui sera intégré sur un robot réel pour l'exploiter au développement de nouveaux algorithmes de navigation autonome dynamique qui trouve ses applications dans le domaine de la robotique de service.

Bibliographie

- [1] <http://www.dfr.ensta.fr/Cours/docs/C10-2/PolyRobotiqueMobileENSTA.pdf>
- [2] http://eavr.u-strasbg.fr/~bernard/education/ensps_3a/poly_3a.pdf
- [3] http://eavr.u-strasbg.fr/~bernard/education/ensps_3a/slides_3a.pdf
- [4] <ftp://ftp.irisa.fr/techreports/theses/2009/martin-guillerez.pdf>
- [5] <http://ethesis.inp-toulouse.fr/archive/00000351/01/lefebvre.pdf>
- [6] http://www.afsset.fr/upload/bibliotheque/726108694775617668756800952202/RFID_Afss_et_janvier_2009.pdf
- [7] Landt, J., "The history of RFID," *IEEE Potentials*, vol. 24, No 4, pp.8 – 11, Oct.-Nov. 2005.
- [8] http://www.telecom.gouv.fr/fonds_documentaire/rapports/07/panorama_strategique.pdf
- [9] Klaus Finkenzeller, "RFID Handbook: Fundamentals and Applications in Contactless Smart Cards and Identification." John Wiley & Sons, Ltd, 2003.
- [10] <http://www.hitachi.co.jp/Prod/mu-chip/>
- [11] S. Han, H. Lim, and J. Lee, "An efficient localization scheme for a differential-driving mobile robot based on RFID system," *IEEE Trans.*
- [12] W. Gueaieb and S. Miah, "An intelligent mobile robot navigation technique using RFID technology," *IEEE Trans. Instrum.Meas.*, vol. 57, no. 9, pp. 1908–1917, Sep. 2008.
- [13] S. Park, R. Saegusa, and S. Hashimoto, "Autonomous navigation of a mobile robot based on passive RFID," in *Proc. 16th IEEE ROMAN*, 2007, pp. 218–223.
- [14] O. Matsumoto, K. Komoriya, T. Hatase, and H. Nishimura, "Autonomous traveling control of the 'TAO Aicle' intelligent wheelchair," in *Proc.IEEE/RSJ Int. Conf. Intell. Robots Syst.*, 2006, pp. 4322–4327.
- [15] Chawla, K., Robins, G. and Zhang, L. (2010b) 'Efficient RFID-based mobile object localization', *IEEE International Workshop on Selected Topics in Mobile and Wireless Computing (STMWC 2010)*, Niagara Falls, Canada, pp.683–690.
- [16] Vorst, P., Schneegans, S., Yang, B. and Zell, A. (2008) 'Self-localization with RFID snapshots in densely tagged environments', *IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS 2008)*, Nice, France, pp.1353–1358.
- [17] <http://www.helloapps.com>

Annexe : Technologie RFID

1.1 Introduction

L'Identification par Radiofréquence (RFID), est l'une des technologies émergentes, qui connaît un développement très rapide en s'associant aux avancées de la technologie des semi-conducteurs et de l'information. La RFID figure aussi parmi les systèmes d'identification automatique avancés offrant donc des services dans beaucoup de domaines. De plus, les nombreuses applications de la RFID peuvent également profiter aux entreprises, aux individus ainsi qu'aux états selon l'utilité ou la nécessité. Ce moyen d'identification par radiofréquences est aujourd'hui en plein essor, avec des applications déjà bien maîtrisées et répandues : identification animale, contrôle d'accès, et d'autres encore en développement (contrôle des flux logistiques, navigation et localisation de robots mobiles). Les applications RFID couvrent ainsi des domaines allant de la télédétection (identification d'animaux, etc.) aux transactions de la vie courante (cartes bancaires, titres de transport en commun, etc.) et à la traçabilité des produits et des marchandises.

1.2 Systèmes RFID

1.2.1 Définition et Principe de fonctionnement

Dans la figure 1, on montre le principe de fonctionnement de l'ensemble où l'interrogateur envoie une demande d'identification aux étiquettes, qui lui communiquent en retour les informations contenues dans la puce. Ces informations peuvent ensuite être traitées par un système informatique pour répondre à des besoins applicatifs extrêmement divers.

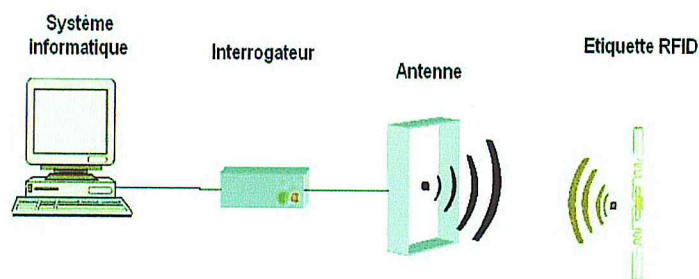


Figure 1 : Principe de fonctionnement de la technologie RFID

Par ailleurs, ces systèmes peuvent aussi être passifs ou actifs, alimenté ou télé-alimenté :

Systèmes passif et actif : Ces deux adjectifs qualifient uniquement la manière dont est assurée la communication de l'étiquette vers l'interrogateur et non la façon dont l'étiquette est alimentée en énergie. Les étiquettes RFID passives sont composées d'une puce électronique qui mémorise les données numériques d'identification et d'une antenne qui transmet ces informations enregistrées. L'interrogateur RFID émet des ondes électromagnétiques qui induisent un courant dans l'antenne de l'étiquette. Interrogateur « Lecteur »

La figure 2 illustre aussi les types de lecteur qui peuvent être fixe ou mobile selon le type d'application.

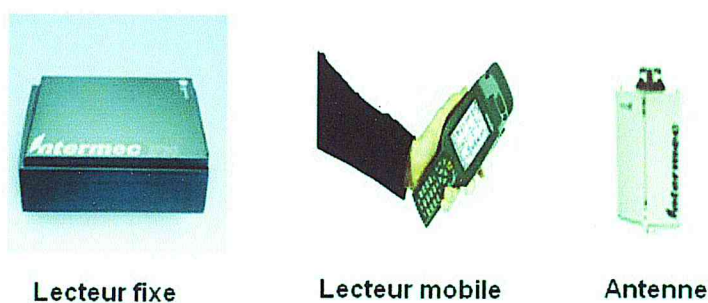


Figure 2 : Types de lecteurs et antennes

1.2.2 Étiquette «Tag ou transpondeur »

La deuxième partie physique constituant les systèmes RFID est appelée Étiquette ou Transpondeur et très souvent Tag. Ce dispositif a pour rôle de répondre aux interrogations de son interlocuteur en l'occurrence le lecteur sans fil sous certaines conditions établies au préalable. (Figure 3).

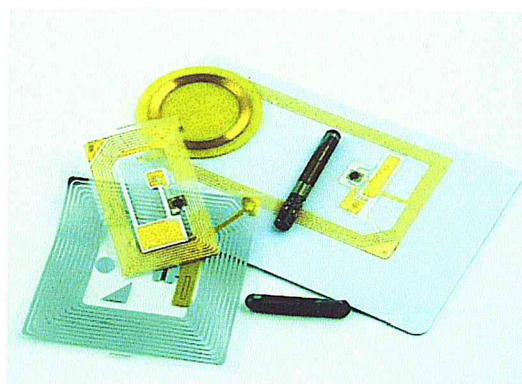


Figure 3 : Exemples des étiquettes

1.2.2.1 Antenne

Selon la fréquence porteuse, deux types d'antennes sont principalement utilisés à savoir les antennes de type bobine pour les basses (BF) et hautes fréquences (HF) et les antennes de type filaire, voire « patch » pour les hautes fréquences (UHF et SHF).

1.2.2.2 Distance et fréquences

Distance d'utilisation

Parmi les premières caractéristiques importantes du cahier des charges d'une application RFID, la distance d'utilisation est en bonne place, et son découpage (lié aux caractéristiques physiques des éléments ou procédés mis en jeux) est illustré au tableau :

Tableau 1 : Description des distances d'utilisations

| | Distance | Objectif / exemple d'application |
|-------------------------------|------------------------------|--|
| Très courte distance | Du contact à < 5 mm | Isolation galvanique souhaitée. Contrôle d'accès |
| Courte distance (short range) | Du contact à 30 mm | Immobiliseur de véhicule, contrôle d'accès |
| Proximité (proximity) | De \approx 5 à 15 cm | Carte de paiement, de transport |
| Voisinage (vicinity) | De \approx 30 cm à 1 mètre | Suivi de chariots, de bagages en aéroport |
| Longue distance (long range) | De \approx 1 à 10 mètres | Lecture de palettes, inventaire de petits locaux |
| Très longue distance | A partir de 10 mètres | Identification container, gestion en entrepôt |

Remarque : Il est à noter qu'aucune norme ne spécifie les distances d'utilisation.

1.2.2.3 Fréquence d'utilisation

La fréquence utilisée est « relativement libre », et son choix reste un compromis selon le type d'application visé et les performances recherchées.

Tableau 2 : Fréquences utilisées en RFID

| Bande | LF | HF | UHF | UHF (haute) et SHF |
|---|--|---|--|---|
| Fréquences | 125 kHz à 133 kHz | 3,25 MHz, 8.2 MHz et 13.56 MHz | 440 MHz, 860 à 960 MHz | 2.45 GHz, et 5.8 GHz |
| Type de couplage | Inductif | Inductif | Radiatif | Radiatif |
| Distance d'utilisation maximale en téléalimentation | 2 à 3 mètres | 1 à 5 mètres | <12 mètres USA <6 mètres Europe | <2.30 mètres USA <0.81 mètres Europe |
| Limites de fonctionnement | Peu sensible aux perturbations électro-magnétiques industrielles | Faiblement sensible aux perturbations électro-magnétiques industrielles | Sensible aux perturbations électro-magnétiques. Peut être perturbé par les autres systèmes UHF à proximité | Fortement sensible aux perturbations électro-magnétiques réfléchies par le métal et absorbées par l'eau |

1.2.2.4 Mode de fonctionnement

Il existe plusieurs types de fonctionnement et de communication possibles pour les transpondeurs :

Lecture seule : il est uniquement possible de lire le transpondeur. Ses informations (et son identité) peuvent avoir été inscrites préalablement par le fabricant, ou le transpondeur peut avoir été livré vierge et c'est l'utilisateur qui en détermine le contenu.

Lectures et écritures multiples : l'objectif est la réutilisation du transpondeur et/ou la mise à jour de ses informations. Certaines zones mémoires peuvent n'être programmées qu'un nombre déterminé de fois dans le cas du mode MTP (Multiple Time Programmable), ou programmées de manière illimitée (ou seulement par la technologie) dans le cas du mode R/ W (Read/Write).

Lectures et/ou écritures protégées : la protection des données « secrètes » lues ou écrites peut être faite de manière logicielle (mots de passe), ou matérielle (timing particulier, etc.), et appliquée pour tout ou partie de la mémoire.

Lecture et/ou écriture sécurisées, cryptées : la sécurisation tient à l'authentification des partenaires (base station – transpondeur) habilités à correspondre ensemble, par des codes évolutifs ou tournants par exemple. Le cryptage des données échangées entre la Base station et le Transpondeur sert à contrer les écoutes clandestines et pirates.

Du côté de la base station, deux possibilités sont offertes. A la portée de son champ d'action (et électromagnétique) soit il y a lecture et/ou écriture :

- Transpondeur unique.
- Plusieurs transpondeurs.

Dans ce dernier cas, nous parlerons de collision lorsque plusieurs transpondeurs tenteront de répondre en même temps à la base station qui, bien évidemment, ne sachant comment différencier ses interlocuteurs, ne peut plus rien comprendre. Pour résoudre ce problème des systèmes « anti- collision » ont été développés, mis en place -ou non- dans tous les éléments: base Station et transpondeurs.

1.2.3 Communication

Une communication commence dès que le premier interlocuteur parle. Pour cela, deux possibilités s'offrent et s'opposent :

Le transpondeur parle en premier : TTF (Tag Talk First) ou ATR (Answer To Reset).

La base station parle en premier : RTF (Reader Talk First) ou ATQ (Answer To reQuest).

Une fois la communication engagée, le dialogue peut être alterné (Half duplex), ou simultané (Full Duplex) entre les liaisons montantes et descendantes. Une écrasante majorité des systèmes RFID utilise le mode alterné.

1.2.3.1 Anticollision

L'origine d'une collision est la présence en même temps d'au moins deux transpondeurs dans la même zone d'action d'une base station. A ce moment, les messages envoyés par ces transpondeurs (TTF comme RTF) à la base station se superposent et interfèrent entre eux. Dans ce « bruit », la base station ne peut comprendre les messages.

1.2.3.2 Codage

Le type de codage bit utilisé dépend des phases de fonctionnement : phase de test de fonctionnement, phase d'anticollision, phase utile de communication, etc. Là encore, de nombreuses possibilités sont offertes: RZ (Retour à zéro) ou NRZ (Non RZ), Miller ou Miller modifié, Manchester, CDP (Conditioned Diphase Procedure), codage de position, etc.

1.3 Normes et standards

L'objectif principal des organismes de normalisation et des normes est d'assurer l'interopérabilité des équipements, la facilité d'utilisation et la diminution des coûts finaux de ces équipements, ainsi qu'un développement plus rapide au niveau mondial de l'équipement normé.

Les normes sont des documents élaborés par consensus au sein d'organismes reconnus. Elles sont en général d'application volontaire mais elles peuvent parfois être référencées par la réglementation et donc devenir obligatoires. Les normes internationales génériques aux RFID tiennent compte de plusieurs aspects mais elles peuvent être techniques ou applicatives.

Pour les normes techniques, elles concernent explicitement les produits et sont résumées aux points suivants :

- La communication entre lecteurs et tags appelée Air Interface
- La consultation des tags appelée Application Interface
- La codification des tags
- les fréquences d'émission
- les protocoles de communication
- la protection de la santé publique
- la garantie des libertés individuelles
- la récupération des produits en fin de vie

Pour les normes applicatives, elles concernent l'utilisation des produits et se résument comme suit :

- Le choix des technologies (fréquences)
- Le choix de la codification
- Le positionnement des tags

Les standards sont des spécifications qui peuvent être issus d'organisations variées notamment en termes d'ouverture de fonctionnement et de politique de propriété industrielle tels que les standards décrits par le consortium EPC Global.

1.3.1 Normes ISO

C'est au sein du comité ISO/IEC/JTC1/SC31 que sont effectuées les normalisations pour une parfaite interopérabilité des différents systèmes RFID. Deux autres comités de l'ISO sont également concernés :

Le comité ISO/IEC/JTC1/SC17 « cartes à circuits intégrés », et plus précisément son groupe de travail relatif au « sans contact » ;

Le comité ISO/IEC/JTC1/SC6 « réseaux » pour les aspects infrastructure de communication électronique.

1.4 Standard EPC (Electronic Product Code)

En 2003, EAN International, Auto-ID Center, UCC (Uniform Code Council) et des industriels créent le standard EPC (EPCglobal Version 1.0) intégrant les technologies RFID et Internet pour mettre en place le réseau de traçabilité des objets.

Le standard EPC se compose d'un système de codification séquentielle des produits, l'Electronic Product Code, d'un standard d'étiquette RFID et d'un réseau de partage d'informations, l'EPC Network. Ces trois éléments constituent ainsi des solutions de traçabilité et de gestion de la chaîne d'approvisionnement (Supply Chain). L'EPC (Electronic Product Code) est un numéro unique attribuable à chaque objet manufacturé. Ce code peut servir à l'obtention d'informations (statuts, localisation, etc.) via le réseau EPC Network.

1.5 Applications

Les applications des systèmes RFID sont extrêmement nombreuses et s'enrichissent tous les jours de nouvelles idées soit ne tenant compte que du « matériel existant », soit en développant de nouveaux systèmes, soit enfin en couplant différents dispositifs.

- Immobilisateur (système anti-démarrage)
- Anti-intrusion (sécurité de l'habitable)
- Immobilisateur plus télécommande
- Péages autoroutiers automatiques

- Cartes de fidélité, maintenance, services, cartes de santé du véhicule, etc.
 - Systèmes d'alarme, antivol pour magasin, EAS (Electronic Alarm Surveillance)
 - Identification animale, suivi d'alimentation des animaux et chaîne du froid
 - Gestion des chaînes d'approvisionnement
 - Bibliothèque (entrée/sortie de livres, inventaires)
 - Suivi de containers
 - Lutte contre les contrefaçons et les marchés parallèles des produits de luxe.
-
- Le porte-monnaie électronique
 - Données personnelles et papiers officiels : Carte d'identité nationale/passeport, Permis de conduire, Carte grise, Carte santé, Cartes de compagnie, de société, Cartes de fidélité).
 - Guidage d'un fauteuil roulant électrique doté d'un lecteur RFID dans un environnement augmenté par des Tags RFID.
 - Navigation autonome des robots mobiles dans des environnements d'intérieur ou d'extérieur. Cette application a fait l'objet de notre mémoire de Master.
 - Guidage des véhicules dans les mines par des lecteurs RFID de très longue portée et des tags actifs.

1.6 Conclusion

La technologie RFID connaît un essor très important vu les nombreuses applications existantes et qui seront probablement innombrables dans le futur. Cette technologie se distingue par l'utilisation de l'électromagnétisme comme noyau principal pour surmonter les contraintes des autres technologies d'identification. D'ailleurs, elle ne cesse de remplacer les autres systèmes d'identification automatique dans tous les domaines allant de l'agriculture et l'économie jusqu'au domaine de la sécurité des biens et de personnes. La RFID présente aussi d'autres points forts notamment de sa capacité à se fusionner et s'adapter avec le monde informatique (réseaux, algorithmes, etc.).