

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne démocratique et populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique

جامعة سعد دحلب البليدة
Université SAAD DAHLAB de BLIDA

كلية التكنولوجيا
Faculté de Technologie

قسم الإلكترونيك
Département d'Électronique



Mémoire de projet Fin d'étude

Présenté par

Hadjsadok Riadh

&

Gherara salaheddine

Pour l'obtention du diplôme de master en électronique option électronique de
système Embarqué

Thème

**Réalisation d'un Robot mobile avec
évitement d'obstacle et atteinte un
objectif fixé**

Proposé par : A.Bounemeri

Année Universitaire 2017-2018

Remerciement

Nous tenons tout d'abord à remercier DIEU le tout puissant, qui nous a donné la force et la patience d'accomplir ce Modest travail.

*Nous tenons à exprimer nos vifs remerciements à notre promoteur **MR Ammar bounemri** pour nous avoir encadrés durant la réalisation de notre projet de fin d'études et tout le temps qu'il nous a consacré, ses directives précieuses, et pour la qualité de son suivi durant toute la période de la réalisation.*

Nous remercions chaleureusement les membres du jury pour l'honneur qu'ils

Nous ont fait en acceptant d'évaluer notre travail.

Nos remerciements vont également à tous les enseignants qui ont contribué

A notre formation.

Enfin, nos remerciements vont à toute personne ayant contribué, de près

Ou de loin, pour la réalisation de ce travail.

Chapitre 01 : Stratégies de la navigation et de la localisation

1- Navigation d'un robot mobile	3
La Navigation vers un point dans l'espace	3
2- Localisation robot mobile.....	3
Localisation locale ou globale.....	3
Suivant les coordonnées	3
2.2- Localisation globale.....	4
2.3- Environnement statique ou dynamique	4
2.3.1- Environnement statique.....	4
2.3.2- Environnement dynamique.....	4
2.4- Localisation passive ou active	4
2.4.1- Localisation passive	4
2.4.2- Localisation active	5
2.5- Localisation absolue et la localisation relative.....	5
2.5.1-La localisation absolue	5
2.5.2- La localisation relative.....	5
2.6- Les informations proprioceptives et les informations extéroceptives	5
Les informations proprioceptives	6
L'odométrie	6
2.6.2- Les informations extéroceptives	6
a- Télémètres.....	7
b-Télémètre ultrasonore	7
c- Les capteurs à infrarouges.....	7
Conclusion.	9

Chapitre 02 : Composants utilisés dans le système embarqué

1- Description de la base	19
2- Roues-libres.....	11
3- Roue motrice.....	12
4- Moteur a courant-continu (cc).....	12
Les engrenages	13
5-Le circuit de pilotage des moteurs : le L298 en double Pont H.....	14
5-1- Principe de fonctionnement du L298.....	23

5-2-Le pont en H :	24
Caractéristiques du pont en H.....	25
6- Le système embarqué : la carte Arduino :	17
7-Le Servomoteur de type SG90	20
7-1-Principe Fonctionnement du servomoteur.....	28
7-2-Différente technologie de gestion des servomoteurs : Analogique ou Numérique.....	29
7-3-Différents types de construction mécanique pour les pignons.....	29
7-1-1-Le nylon.....	29
7-3-2-Kar.....	29
7-3-3-Le métal	29
7-3-4-Le titane	29
7-4-La vitesse d'un servomoteur.....	29
7-5-Le couple d'un servomoteur	30
7-6-Le poids maximum	30
7-7-La partie mécanique	30
7-8-Le signal de commande	31
7-9-La fréquence fixe.....	31
8-Capteur Ultrasons de type HC-SR04:.....	31
8-1 principe de fonctionnement du capteur HC-SR04	33
8-2Avantages et inconvénient de ce type de détection.....	33
9-Batterie.....	34
10-Le module RF433 MHZ	35
10-1-Principe de fonctionnement	27
10-2-La transmission	28
Avantages principales de la modulation	29
10-3-La réception	38
10-3- a-Première opération : la suppression des alternances négatives.....	38
10-3- b- Deuxième opération : la suppression de la porteuse.....	40
11-Capteur infrarouge.....	41
11-1-Les Constitutions du capteur infrarouge	41
11-2-L'infrarouge.....	42
11-3-Principe de fonctionnement	42
11-4-Avantage du capteur infrarouge.....	42

11-5-Inconvénient de capteur infrarouge.....	42
Conclusion	43

Chapitre 03 : Réalisation pratique de la plateforme

1- Principe de fonctionnement.....	37
1-1 Initialisation du robot.....	37
1-2 Déplacement du robot vers la cible.	38
1-2-1 Cas ou il n’y a pas d’obstacles entre le robot et la cible	38
1-2-2 Cas de présence d’obstacles entre le robot et la cible	38
2- Calcul des vitesses des roues	39
3-Régulateur PID	40
3-1-Les paramètres du PID :	49
3-2-Fonctionnement du PID :	49
3-3-Le fonctionnement du régulateur PID sur le robot.....	50
3-4 Scenarios d’évitement d’obstacles.....	51
4-Programmation	53
4-1-Programmation de l’opération de transmission :.....	53
pseudo code.....	54
4-2- Programmation de l’opération de réception :.....	47
pseudo code :.....	47
4-3 Programmation du fonctionnement du servomoteur	48
pseudo code.....	48
4-4-Calcul de la distance entre le robot et l’obstacle.....	49
4-4-1 pseudo code.....	58
4-4-2 Le problème de la détection d’obstacle	58
4-5-localisation du robot.....	59
pseudo code.....	59
4-6-contrôle l’angle d’orientation du robot.....	59
Pseudo code.....	60
7-Simulation a l’aide du logiciel proteus	60
7-1-Proteus.....	60
7-2 Résultat de la simulation.....	61
Conclusion	62

Table de figures :

Figure I.1:Robot mobile en phase de nvigation	11
Figure I.2:Odomètre optique	14
Figure I.3:(a) Capteur ultrasonore pour la détection d'obstacles.....	15
Figure I.4:(b) Angle de détection	15
Figure I.5:Capteur infrarouge.....	16
Figure II.1:Plateforme a deux roues motrices et une roue libre.....	19
Figure II.2:Roue libre.	20
Figure II.3:Roue motrice.	20
Figure II.4:Moteur à courant continu : conversion électromécanique	20
Figure II.5:Moteur à courant continu de type TT	21
Figure II.6:Les engrenages.....	22
Figure II.7:Structure Interne du circuit intègre L298.....	22
Figure II.8:Circuit imprime et connexions du L298 avec un moteur cc	23
Figure II.9:Control de la rotation d'un moteur et son freinage par le L298.	24
Figure II.10:Schéma du principe de fonctionnement du pont en H.....	25
Figure II.11:Représentation d'une carte arduino.	26
Figure II.12:Les ports analogiques de la carte arduino.....	26
Figure II.13:Ports d'alimentation de la carte arduino.	27
Figure II.14:Servomoteur de type SG90.	28
Figure II.15:Représentation des composants du servomoteur.	29
Figure II.16:Signal de fonctionnement du servomoteur de période 20 ms.....	31
Figure II.17:Capteur ultrasons de type HC-SR04.....	32
Figure II.18:Détection d'obstacle par ultrason.....	32
Figure II.19:Illustration des signaux Trigger et Echo.	33
Figure II.20:Cas de détections d'obstacle.	34
Figure II.21:Batterie au Lithium 3.7V	34
Figure II.22:Module RF433 MHz émetteur-récepteur.....	35
Figure II.23:Transmission et réception d'informations par onde radio	36
Figure II.24:Emission d'informations par onde radio.....	36
Figure II.25:modulation du signal	37
Figure II.26:Le multiplieur.....	37
Figure II.27:Démodulation d'un signal.....	38
Figure II.28:Circuit de redressement.....	39
Figure II.29:Allure des signaux (a) avant redressement	40
Figure II.30:Circuit de redressement et suppression de la porteuse	40
Figure II.31:Capteur infrarouge	41

Figure II.32:Constituants du capteur IR.....	41
Figure III.1:Initialisation de la position du robot.....	34
Figure III.2:Détection et évitement d'obstacle.....	35
Figure III.3:Evaluation de l'angle d'orientation globale	36
Figure III.4:Erreur dans le chemin de la cible.....	37
Figure III.5:asservissement par régulateur PID	39
Figure III.6:Evitement d'obstacle par le robot.....	39
Figure III.7:Scenarios d'évitement d'obstacles.....	40
Figure III.8:liaison émetteur RF433 MHz avec arduino.....	42
Figure III.9:Liaison du récepteur RF433MHz avec arduino.....	43
Figure III.10:Connexion du servomoteur avec la carte arduino.	44
Figure III.11:Capteur a ultrason connecté avec la carte arduino.	45
Figure III.12:Forme des obstacles.....	46
Figure III.13:Simulation des composants du robot sur proteus.	49

Résumé :

La navigation de robot mobile dans un environnement statique représente un défi important pour la recherche en robotique. Le point essentiel du problème est que le robot doit suivre sa trajectoire vers la cible tout en évitant les obstacles statiques. Dans ce mémoire nous abordons le problème de la navigation d'un robot à roues vers un but ou un point dans l'espace (la cible) dans un environnement statique.

Nous avons en premier lieu utilisé un régulateur PID pour la navigation. En deuxième lieu, et en présence des obstacles statiques, la méthode d'évitement des obstacles est appliquée, pour pouvoir éviter ces obstacles.

Abstract

Mobile robot navigation in a static environment represents a challenge important for robotics research. The essential point of the problem is that the robot must follow its trajectory towards the target while avoiding static obstacles. In this thesis we address the problem of navigating a wheeled robot to a goal or point in space (the target) in a static environment. In the first time we used a PID regulator for navigation. Secondly, with the presence of static obstacles, the method of obstacle avoidance is applied, to be able to avoid these obstacles.

المخلص:

يمثل سير السيارة الآلية الذاتية التحرك في محيط ثابت تحد صعوب، وتطرح إشكالية تتبع المسار نحو الهدف وذلك بتجنب المعيقات الثابتة. من أجل السير الذاتي للسيارة الآلية استعملنا في مذكرتنا هذه متحكم ليتتبع نحو الهدف مع تجنب المعيقات .

INTRODUCTION GENERALE

Depuis longtemps, l'homme rêve de créer des machines intelligentes capables d'effectuer des tâches. Ainsi, les humains auraient plus de temps à consacrer pour leur loisir, ou prendraient moins de temps et de risques pour effectuer des tâches dangereuses. Les années 70 et 80 ont vu émerger un domaine dans la science de l'automatique : la robotique. La robotique telle qu'elle est connue aujourd'hui est une science interdisciplinaire comprenant de vastes champs de recherche : la vision, la planification, le contrôle/commande du mouvement, la locomotion, le design, etc.

Les premiers robots ont été caractérisés par leur aptitude de manipulation d'objets ce qui a permis de les intégrer dans des unités de production pour réaliser des tâches répétitives. Le premier objectif de leurs conceptions a été atteint : remplacer l'homme dans des tâches pénibles. L'évolution des robots de type manipulateur a permis d'accroître leur vitesse, d'augmenter les charge transportées, de fiabiliser les structures mécaniques et de les rendre de plus en plus adaptables aux tâches demandées. Les progrès technologiques de la robotique ont conduit vers la réalisation d'un robot tout à fait différent dans sa conception et dans le type de tâche à accomplir : le robot mobile.

Le développement de la robotique mobile est synonyme de développement des techniques de commande; on cherche à intégrer des techniques de plus en plus performantes sur des structures de plus en plus compactes. Ces applications sont légion : le transport, l'exploitation d'environnement hostile, le domaine agricole, le génie civil, la lutte contre les incendies, l'inspection, le domaine militaire, l'aide aux handicapés etc.

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

Le premier chapitre présente les aspects de perception et de contrôle des robots autonomes, ainsi que les techniques de localisations.

Dans le deuxième chapitre, on expose le fonctionnement de différents capteurs utilisés dans le robot mobile.

Dans le troisième chapitre, on présente le fonctionnement de robot mobile et la simulation sur logiciel proteus ainsi la programmation sur la carte arduino.

Chapitre 1

Stratégies de la navigation
et de la localisation

La navigation est usuellement définie comme le guidage des véhicules d'un point à un autre. En robotique mobile, le sens du terme est élargi à l'ensemble des processus (figure I.1) qui permettent au robot mobile de déterminer et d'exécuter les déplacements nécessaires pour atteindre une cible donnée. L'un des problèmes d'un système mobile est le déplacement dans un environnement qui peut être inconnu a priori, l'autonomie de déplacement devient un problème difficile à résoudre par rapport au cas où le système mobile évolue dans un environnement parfaitement connu. L'autre problème, en robotique mobile, est le problème de localisation qui consiste à déterminer la position et l'orientation (« posture ») d'un robot mobile dans son environnement.

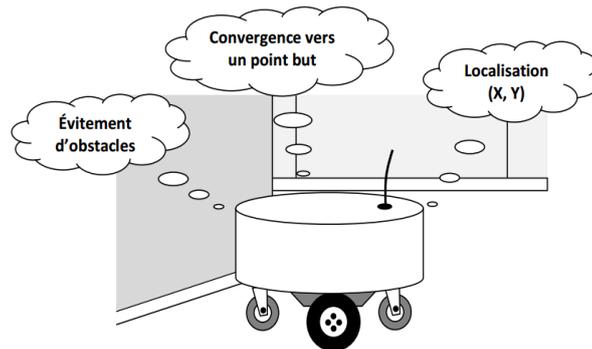


Figure I.1: Robot mobile en phase de navigation

1- Navigation d'un robot mobile.

1.1- La Navigation vers un point dans l'espace

Cette capacité permet d'atteindre un but qui n'est pas un objet, mais un point de l'espace localisé par ses coordonnées polaires(r, θ).

2- Localisation robot mobile

La localisation est une technique dont le robot a besoin pour pouvoir se déplacer dans un environnement. Cette notion a été étudiée de façons diverses. La plupart des techniques de localisation permettent au robot de mesurer des informations environnementales pour obtenir des informations de localisation.

2.1- Localisation locale ou globale

Les problèmes de localisation peuvent être caractérisés par le type d'informations disponibles, à l'initialisation et pendant le processus de localisation.

2.1.1-Suivant les coordonnées

On suppose que la « posture » initiale du robot est connue. La localisation du robot se fait alors de façon itérative : connaissant sa posture précédente et en évaluant son déplacement un robot peut estimer sa « posture » courante. On procède ainsi à une localisation locale : la « posture » courante du robot est localement évaluée en fonction de la posture précédente. La difficulté de ce type de problème consiste à éviter la dérive du robot. En effet, l'évaluation du déplacement du robot est soumise à une certaine imprécision, qui va se répercuter et s'amplifier tout au long du processus itératif de localisation. Pour éviter cette dérive, on considère généralement des mesures extéroceptives (capteurs utilisés de type sonar ou télémètre laser à titre d'exemple) ainsi que la connaissance de l'environnement (carte environnementale) pour recadrer l'évaluation de la « posture » du robot.

2.2- Localisation globale

Cette fois la « posture » initiale du robot n'est pas connue. Dans ce cas il n'est pas possible d'évaluer la « posture » courante du robot en fonction de sa précédente. Ce problème est plus difficile que le précédent car la « posture » du robot doit être évaluée de façon globale dans l'environnement.

2.3- Environnement statique ou dynamique

La difficulté d'un problème de localisation dépend de l'environnement dans lequel évolue le robot.

2.3.1- Environnement statique

Un environnement statique correspond à un environnement qui ne change pas au cours du temps. La seule donnée variable du problème de localisation correspond alors à la « posture » du robot.

2.3.2- Environnement dynamique

Un environnement dynamique est un environnement dont la configuration est modifiée au cours du temps. En d'autres termes, il y a des entités, en plus du robot, qui se déplacent dans l'environnement pendant que le robot se localise (des obstacles dynamiques, personnes mobiles, portes ouvertes fermées, véhicules mobiles, dont la position change). On peut noter que la plupart des environnements réels sont dynamiques. Le processus de localisation dans un environnement dynamique est bien évidemment plus difficile que dans un environnement statique [1].

2.4- Localisation passive ou active

Il est possible de caractériser les algorithmes de localisation en tenant compte de l'influence du processus de localisation sur les déplacements du robot.

2.4.1- Localisation passive

Lors d'une localisation passive, l'algorithme de localisation se contente d'observer. Les déplacements du robot sont gérés par un autre module n'ayant aucun rôle dans la localisation du robot. C'est comme si le robot avait deux pilotes : le premier conduit et le deuxième regarde par la « fenêtre » pour essayer de savoir où il est, sans communication entre les deux.

2.4.2- Localisation active

Pendant une localisation active, le processus de localisation influence les déplacements du robot afin de faciliter l'évaluation de la « posture » du robot et de minimiser l'erreur de localisation. Dans ce cas le robot n'a cette fois qu'un seul pilote, qui conduit tout en regardant autour de lui pour se localiser [2].

2.5- Localisation absolue et la localisation relative

La localisation est la détermination de la situation, position et orientation, du système mobile par rapport à un repère de référence. La localisation est absolue si le repère est fixé, lié à son environnement. La localisation est relative lorsque le repère est lié à une position précédente du système mobile. Nous pouvons aussi parler de localisation statique lorsque le calcul de position s'effectue à l'arrêt ou de localisation dynamique lorsque celle-ci est évaluée durant le mouvement. Nous pouvons considérer deux grands systèmes de localisation [4]:

- La localisation absolue, basée sur l'utilisation des capteurs extéroceptifs.
- La localisation relative ou à l'estime, basée sur l'utilisation des capteurs proprioceptifs.

2.5.1-La localisation absolue

La localisation absolue est une technique qui permet à un système mobile de se repérer directement dans son milieu d'évolution, que ce soit en environnement extérieur (mer, espace, terre), ou en environnement intérieur (ateliers, immeubles, bureaux). Elle est basée sur l'utilisation de capteurs extéroceptifs et nécessite toujours une représentation de l'environnement. Le système mobile possède donc une banque de données regroupant les éléments caractéristiques de son milieu d'évolution (balises par exemple), et pour sa localisation absolue, il doit déduire de la perception de ces éléments caractéristiques ainsi que sa position dans ce milieu [1].

2.5.2- La localisation relative

Elle consiste à déterminer la position, l'orientation et éventuellement la vitesse du système mobile par intégration des informations fournies par divers capteurs proprioceptifs depuis un point de départ. Ces données peuvent être des informations de déplacement (odométrie), de vitesse (vélocimétrie) ou d'accélération (capteurs inertiels). Ce type de localisation présente l'immense avantage d'être indépendant de l'environnement. Les seules erreurs qu'il peut générer sont celles dues à son mode de fonctionnement interne. Par contre, l'inconvénient majeur est l'accumulation d'erreurs dues aux différentes intégrations [3].

2.6- Les informations proprioceptives et les informations extéroceptives

La localisation repose sur deux types généraux d'informations différentes :

- les informations proprioceptives qui mènent à une localisation relative.
- les informations extéroceptives assurant une localisation absolue.

2.6.1- Les informations proprioceptives

Ce sont des informations internes au robot qui le renseignent, dans le cas de la navigation, sur son déplacement dans l'espace. Ces informations peuvent provenir de la mesure de la rotation de ses roues ou de la mesure de l'accélération grâce à une centrale inertielle. Un processus d'intégration permet alors, en accumulant ces informations au cours du temps, d'estimer la position relative de deux points par lesquels le robot est passé. Cependant, la qualité de cette information se dégrade continuellement au cours du temps, à cause de l'intégration temporelle des mesures effectuées par les capteurs internes. En effet, chaque capteur produit une mesure bruitée de la vitesse ou de l'accélération du robot (glissement des roues). Les encodeurs forment l'exemple de capteur proprioceptif le plus répandu. Ils se fixent soit sur les roues motrices, soit directement sur l'arbre du moteur associé à la roue [2].

a- L'odométrie

L'odométrie permet de déterminer la position et l'orientation d'un système mobile par intégration de ses déplacements élémentaires, et ce, par rapport à un repère lié à sa configuration initiale. La technique de localisation consiste à fixer sur les roues des codeurs (Figure I.2) délivrant une impulsion toutes les fractions de tour de roue. L'intégration de ces valeurs permet de déduire la position et l'orientation du système mobile par rapport à l'initialisation des compteurs d'impulsions. Les avantages de cette technique résident dans sa simplicité de mise en œuvre et dans son faible coût. Ces caractéristiques en font la technique de localisation la plus couramment utilisée en robotique mobile. En outre, l'utilisation d'odomètres permet d'obtenir une estimation de la position et de l'orientation à une cadence relativement élevée avec une précision qui reste bonne sur de faibles distances. Cependant, dès que les distances à parcourir augmentent et que la trajectoire comporte de nombreux changements de direction, l'imprécision sur la position et l'orientation du système mobile augmente considérablement, imprécision due à l'erreur cumulative générée lors de l'intégration des déplacements élémentaires [3].

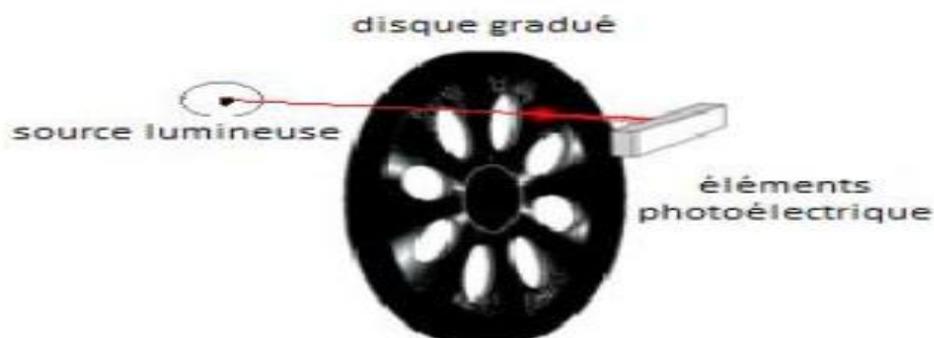


Figure I.2: Odomètre optique

2.6.2- Les informations extéroceptives

Les informations extéroceptives ou encore les perceptions sont des informations caractéristiques d'une position que le robot peut acquérir dans son environnement. Ces informations peuvent être de nature très variée. Par exemple, un robot peut mesurer la distance des obstacles avec des capteurs infrarouges ou utiliser une caméra. En effet, les informations proprioceptives fournissent des informations sur le déplacement du robot, alors que les informations extéroceptives fournissent des informations directement sur la position du robot dans l'environnement.

a- Télémètres

Il existe différents types de télémètres (ultrasonore, Infrarouge, laser, radar) qui fonctionnent tous avec le même principe. On calcule la distance entre le robot et un obstacle en mesurant le temps de vol d'une onde émise (ultrasonore, lumineuse ou radio selon le type de télémètre). Le temps de vol étant le temps mis entre l'émission de l'onde et sa réception après réflexion sur l'obstacle. L'émission et la réception se font au niveau du capteur placé sur le robot.

b-Télémètre ultrasonore

Ils sont adaptés pour la détection d'obstacles proches (de un à quelques mètres). L'information fournie est peu précise et sujette à un certain nombre de problèmes bien connus (absorption, réflexion spéculaire, réverbération). Ce type de capteurs (Figure I.3) suffit pour certaines applications de plus ils ont l'avantage d'être peu coûteux [3].

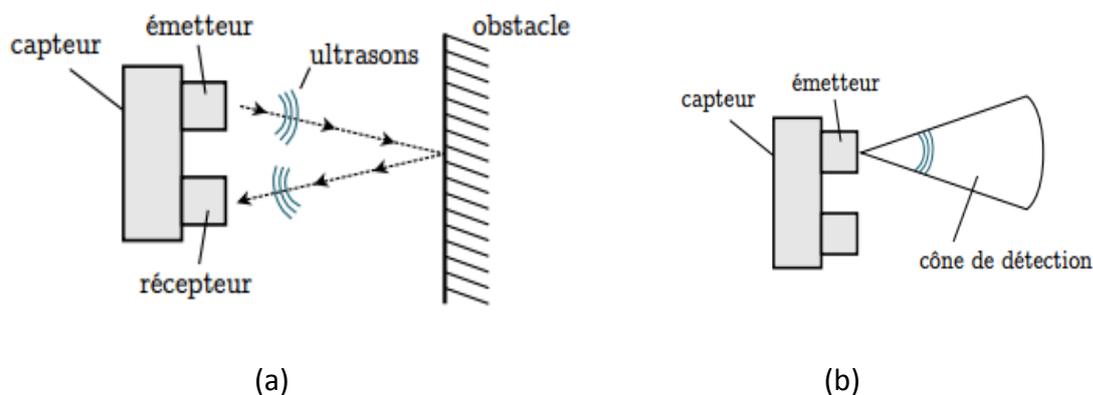


Figure I.3:(a) Capteur ultrasonore pour la détection d'obstacles b) Angle de détection

c- Les capteurs à infrarouges

Les capteurs à infrarouges fonctionnent suivant le même principe que les capteurs à ultrasons. Ils se composent d'un couple émetteur-récepteur (Figure I.4). L'émission s'effectue par une diode électroluminescente infrarouge. Le récepteur est une photodiode ou un phototransistor, sensible au flux lumineux rétrodiffusé par la cible.

Les capteurs à infrarouges sont d'un faible encombrement mais sensibles aux perturbations lumineuses ainsi qu'à la nature des surfaces réfléchissantes. Leurs portées n'étant que de quelques mètres, ils sont utilisés essentiellement pour détecter les obstacles proches [3].

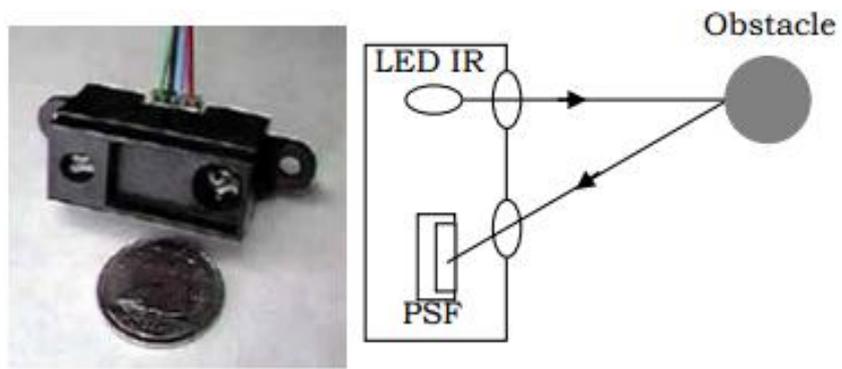


Figure I.4: Capteur infrarouge

Conclusion.

Dans ce chapitre nous avons exposés les définitions de la navigation et de la localisation d'un robot dans un environnement. L'environnement peut être statique ou dynamique connu ou inconnu et nécessite alors des types de capteurs appropriés. Quelques cas de capteurs extéroceptifs et proprioceptifs ont été cités.

Chapitre 2

Composants utilisés dans
le système embarqué

Dans ce chapitre nous allons exposer les composants électroniques utilisés avec le système embarqué constitué d'une carte arduino. Le fonctionnement, l'utilité, l'avantage et l'inconvénient de chaque composant sera détaillé. La réalisation pratique dans sa totalité est nommée plateforme dans la suite de ce chapitre.

1- Description de la base

La base de notre plateforme est un rectangle de largeur 22 cm et de longueur 12 cm, illustrée sur la figure II.1. C'est une plateforme existante dans le commerce. Elle est constituée de deux roues motrices entraînées chacune par un moteur et une roue libre pivotante. L'ensemble étant fixé sur un châssis en plastique (transparent) dur.



Figure II.1: Plateforme à deux roues motrices et une roue libre.

2- Roues-libres

Les roues-libres, en général, assurent la stabilité du robot pour les différents mouvements possibles. Dans notre réalisation nous disposons d'une roue-libre (Figure II.2) à l'arrière du châssis. De nombreuses expériences pratiques démontrent que des perturbations sur les mouvements du robot sont engendrées lorsque le robot passe d'une vitesse tangentielle positive à une vitesse tangentielle négative. Ce problème est lié au poids et aux frictions des roues libres. La solution réside dans le fait d'obtenir une roue-libre qui soit la plus légère possible et qui offre un roulement à friction très faible.



Figure II.2:Roue libre.

3- Roue motrice

Ces roues (Figure II.3) sont placées sur les axes de rotation des moteurs. La vitesse des deux roues motrices permet l'orientation du robot selon un certain angle.



Figure II.3:Roue motrice.

4- Moteur a courant-continu (cc)

Un moteur à courant continu est une machine électrique. Il s'agit d'un convertisseur électromécanique permettant la conversion d'énergie électrique en énergie mécanique (Figure II.3). Il est constitué de deux parties : une partie fixe qui génère un champ magnétique (le stator) et une partie tournante (le rotor).

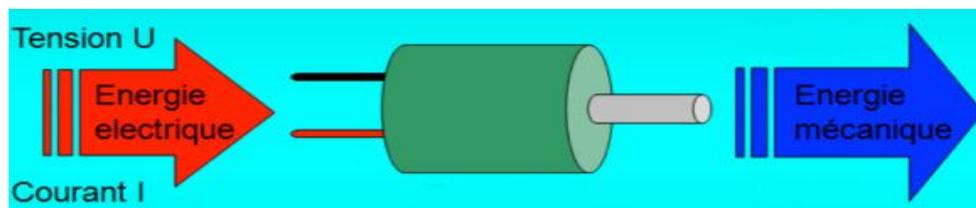


Figure II.3:Moteur à courant continu : conversion électromécanique

Le moteur utilisé dans le robot, pour faire tourner les roues, est de type TT (Figure II.4)



Figure II.4: Moteur à courant continu de type TT

spécifications:

moteur:	Core Moteur
Tension De fonctionnement:	DC3 ~ 6.0 V
Vitesse de fonctionnement (3 V):	200 +/-10% RPM
Vitesse de fonctionnement (6 V):	90 +/-10% RPM
Stall Torque (6 V):	0.8kg.cm
Dimensions:	70x22x18mm
poids:	30g
Gear Ratio:	1:48

4-1- Les engrenages :

La sortie de l'axe du moteur cc est relié a une série d'engrenages (réducteur mécanique) (Figure II.5) qui servent à modifier le rapport de vitesse ou/et le couple entre l'axe d'entrée et l'axe de sortie.



Figure II.5:Les engrenages.

5-Le circuit de pilotage des moteurs : le L298 en double Pont H

Le L298 (Figure II.6) est utilisé pour contrôler la vitesse et le sens de rotation des moteurs à courant continu. Il peut faire tourner les moteurs en vitesse continue ou par pwm (pulse width modulation)

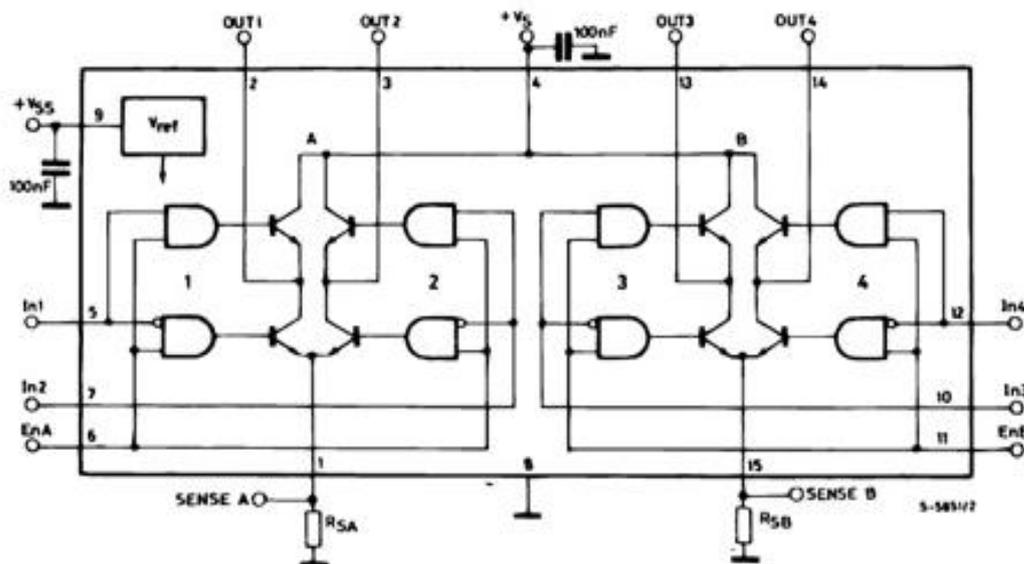


Figure II.6:Structure Interne du circuit intègre L298.

Le L298 est un double pont en H qui permet de faire tourner les moteurs dans un sens ou dans l'autre sans avoir à modifier les branchements(Figure II.7) ,grâce à sa forme de H , d'où il tient son nom et qui lui permet de faire passer le courant soit dans un sens ou dans l'autre[5].

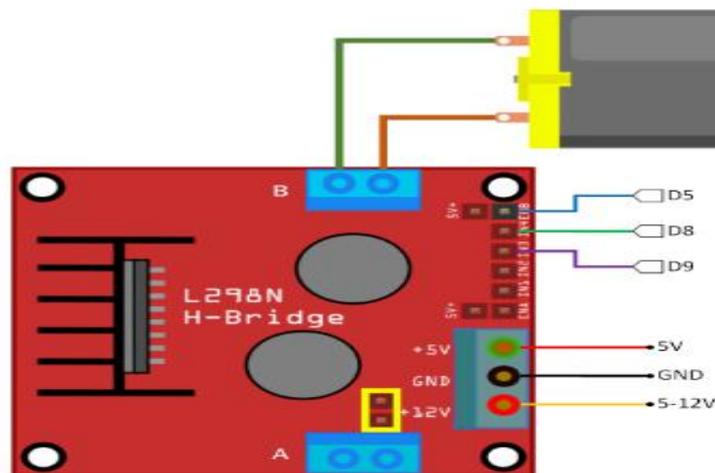
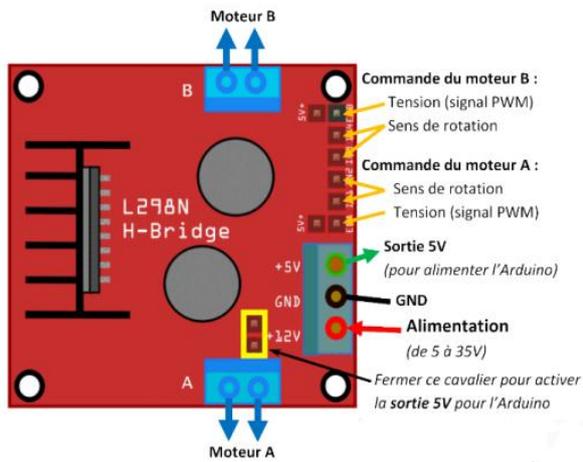
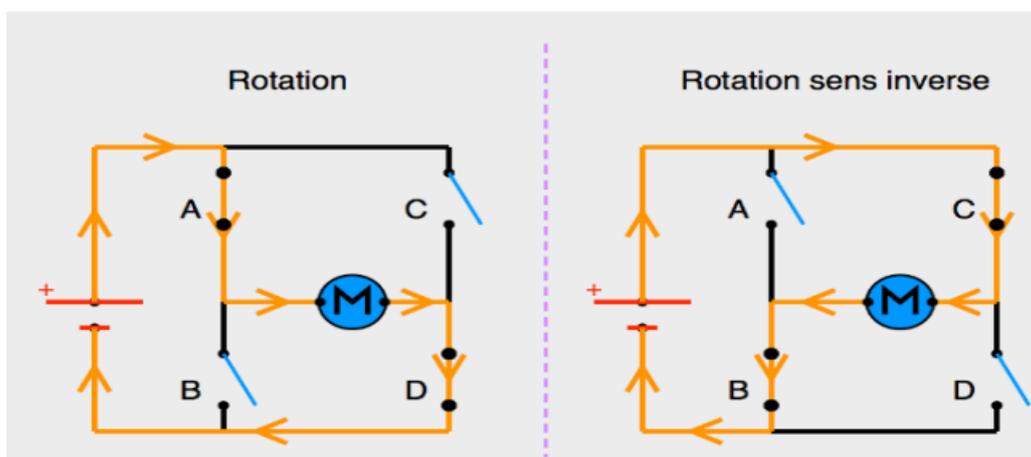


Figure II.7: Circuit imprimé et connexions du L298 avec un moteur cc

5-1- Principe de fonctionnement du L298

Les ports **ENA** et **ENB** (Figure II.6) permettent de gérer l'amplitude de la tension délivrée au moteur, grâce à un signal PWM. Les ports **In1**, **In2** pour le moteur A et **In3**, **In4** pour le moteur B, permettent de contrôler le pont en H et par conséquent le sens de rotation des moteurs. La figure II.8 illustre un exemple de control d'un moteur connecte a la sortie A [6]



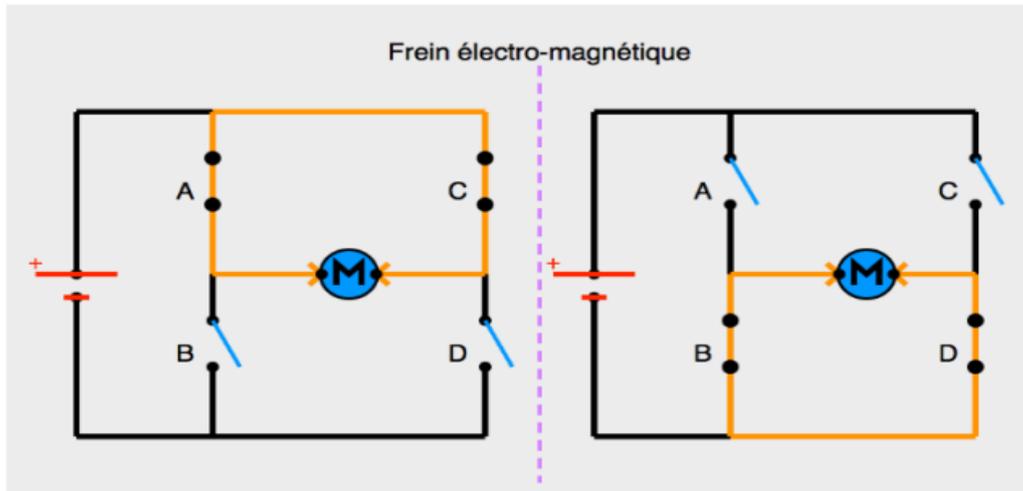


Figure II.8:Control de la rotation d'un moteur et son freinage par le L298.

5-2-Le pont en H :

Le fonctionnement de base du pont en H est relativement simple, il permet d'alimenter le moteur dans un sens ou dans l'autre.

En effet, (Figure II.9) lorsque $V_a=5V$ et $V_b=0V$, Q2 et Q3 (transistors) conduisent, la borne moins du moteur sera connectée à la masse et la borne plus à la tension d'alimentation faisant ainsi tourner le moteur de B vers A.

Inversement, lorsque $V_a=0V$ et $V_b=5V$, Q1 et Q4 qui conduisent, la borne moins du moteur sera connectée à la tension d'alimentation et la borne plus à la masse faisant alors tourner le moteur de A vers B. lorsque les deux tensions de commande sont à zéro, le courant est nulle. Les diodes permettent au courant de réduire continûment lorsque les transistors sont bloqués.

Pour faire varier la vitesse du moteur, il faut appliquer une tension variable aux bornes de celui-ci. Pour ce faire, la commutation des transistors est commandée par un signal *PWM* (*Pulse Width Modulation*) de fréquence relativement élevée ($> 10KHz$). Le moteur passe ainsi de manière très rapide d'état alimenté à non alimenté et vice-versa.

La tension moyenne vue par le moteur (charge inductive) sera alors déterminée par le rapport cyclique du signal *PWM* utilisé [7].

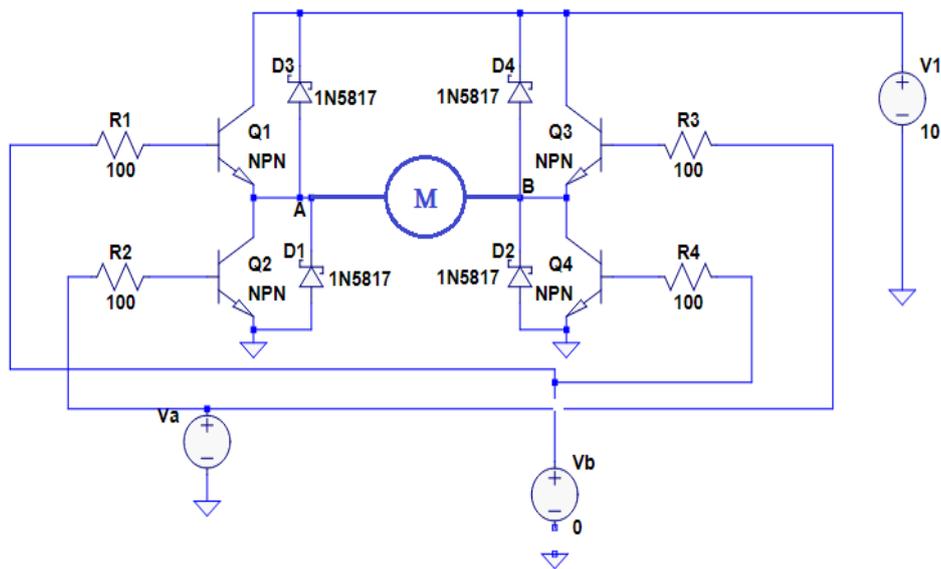


Figure II.9: Schéma du principe de fonctionnement du pont en H

Caractéristiques du pont en H

Les caractéristiques principales du circuit pont en H sont listées comme suit :

- Diodes de protections
- Un dissipateur (pour dissiper la chaleur en cas de forte charge)
- Un sélecteur pour sélectionner la source d'alimentation
- 4 Sélecteurs pour les résistances pull up
- Sortie pour 2 moteurs continus
- Indicateur LED pour sens de rotation moteur
- Indicateur LED pour alimentation 5V
- Composant de contrôle en puissance: L298N
- Alimentation de la charge: de +6V à +35V
- Courant Max (en pointe): 2A
- Tension de commande logique Vss: de +5 à +7V (alimentation interne de +5V)
- Courant de commande logique: de 0 à 36mA
- Tensions pour contrôle du sens: bas 0.3V~1.5V, haut: 2.3V~Vss
- Tensions pour contrôle "actif": 0.3V~1.5V, haut: 2.3V~Vss
- Puissance Max: 25W (Température 75 °C)
- Température de fonctionnement: de -25°C à +130°C
- Dimensions: 60mm x 54mm
- Poids: ~48g

6- Le système embarqué : la carte Arduino :

La carte Arduino (Figure II.10) est une plate-forme de prototypage d'objets interactifs à usage créatif constituée d'une carte électronique (microcontrôleur) et d'un environnement de programmation.

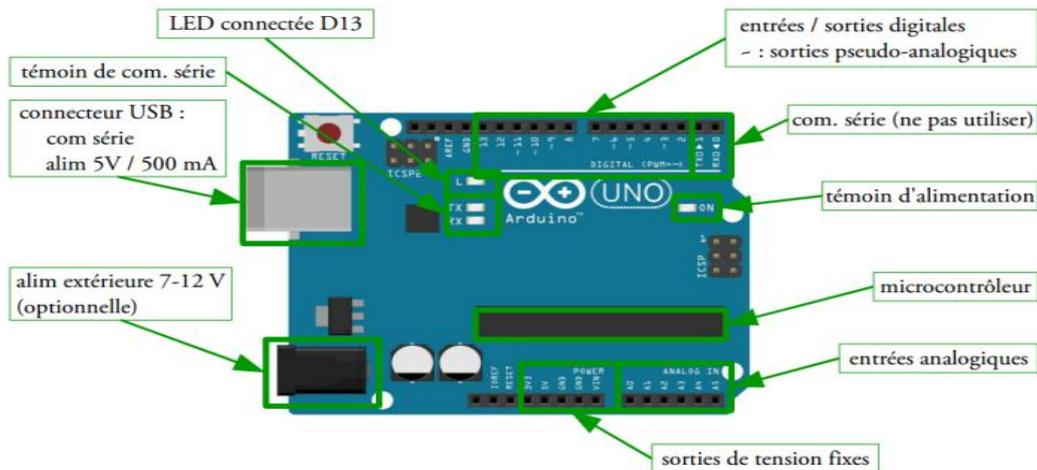


Figure II.10:Représentation d'une carte arduino.

La carte arduino comporte des ports numériques appelés DIGITAL sur la carte. Chacun de ces ports peut-être déclaré comme étant une entrée ou une sortie dans le programme du microcontrôleur.

La carte arduino contient aussi des ports analogiques (figure II.11). Une entrée analogique est une sorte de voltmètre : la carte lit la tension qui est appliquée sur le port. Cependant le microcontrôleur ne travaille qu'avec des chiffres : il faut donc transformer la tension appliquée en sa valeur numérique. C'est le travail du convertisseur analogue/digital, dit « CAD ».

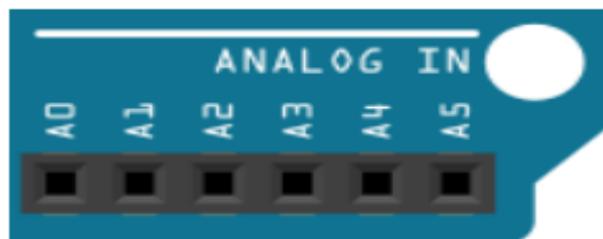


Figure II.11:Les ports analogiques de la carte arduino.

Le CAD de la carte arduino travaille sur 10 bits : il accepte en entrée une tension comprise entre 0 V et V_{ref} une tension de référence, et fournit au microcontrôleur un chiffre entier compris entre 0 et 1023 ($2^{10} - 1$). Une tension inférieure à 0 V est lue comme 0, une tension supérieure à V_{ref} , est lue comme 1023, une tension intermédiaire est lue comme un entier entre 0 et 1023, avec une relation linéaire. La tension V_{ref} est 5 V par défaut, mais cette valeur peut être changée dans le programme.

La carte arduino fournit des ports permettant d'accéder à certaines tensions de référence.

GND est la référence de la carte arduino par rapport à laquelle toutes les différences de tension sont mesurées. Si la carte est reliée à l'ordinateur par un câble USB, cette tension est celle de la terre.

Les ports 5V et 3V3 (Figure II.12) donnent accès aux tensions de 5 V et de 3.3 V. Ces tensions sont normalement régulées et précises. Une exception : quand la carte est branchée sur un port USB sans alimentation externe, le port 5 V ne provient plus de la carte arduino mais directement du câble USB, la tension de référence 5 V n'est alors plus aussi bien régulée. VIN est la tension de l'alimentation externe, quand il y en a une.



Figure II.12: Ports d'alimentation de la carte arduino.

Caractéristique carte arduino UNO :

- Micro contrôleur : ATmega328.
- Tension d'alimentation interne : 5V.
- tension d'alimentation : 7 à 12V, limites = 6 à 20 V.
- Entrées/sorties numériques : 14 dont 6 sorties PWM (modulation largeur d'impulsion).
- Entrées analogiques : 6 (avec une résolution de 10 bits => 1024 valeurs différentes).
- Courant max par broches E/S : 40 mA
- Courant max sur sortie : 3,3V = 50mA.
- Mémoire Flash : 32 KB dont 0.5 KB utilisée par le boot loader.
- Mémoire SRAM : 2 KB.
- mémoire EEPROM : 1 KB.
- Fréquence horloge : 16 MHz.
- Dimensions : 68.6mm x 53.3mm.

Caractéristique carte arduino mega 2560 :

- Microcontrôleur : ATmega2560.
- Tension d'alimentation : 5V.
- Input Voltage : 7-12V.
- tension d'alimentation (limites): 6-20V.
- Entrées/sorties numériques : 54 (14 sorties PWM).
- Entrées analogiques : 16.
- Courant max par broches E/S : 40 mA.

- Courant max sur sortie : 3,3V = 50mA.
- Mémoire Flash : 256 KB dont 8 KB utilisée par (boot loader).
- mémoire SRAM : 8 KB.
- mémoire EEPROM: 4 KB.
- Tension d'alimentation interne : 16 MHz

7-Le Servomoteur de type SG90

Un servomoteur de modélisme (Figure II.13) se présente sous la forme d'un petit rectangle avec deux languettes sur les côtés pour la fixation et un axe décentré avec un bras (interchangeable) pour la liaison mécanique. il permet d'effectuer une rotation de son axe de 0° à 180°.

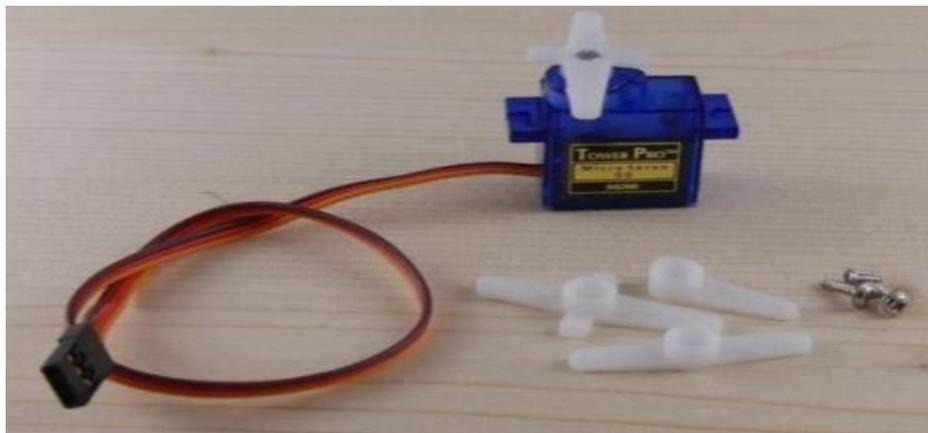


Figure II.13: Servomoteur de type SG90.

7-1-Principe Fonctionnement du servomoteur

Le principe de fonctionnement interne d'un servomoteur est assez basique.

Un petit circuit électronique (Figure II.14) permet de contrôler un moteur à courant continu en fonction de la position d'un potentiomètre intégré au servomoteur.

La sortie du moteur à courant continu est reliée mécaniquement à une série d'engrenages qui augmente la force (le couple) du servomoteur en réduisant la vitesse de rotation de celui-ci. Quand le moteur tourne, les engrenages s'animent, le bras bouge et entraîne avec lui le potentiomètre. Le circuit électronique ajuste continuellement la vitesse du moteur pour que le potentiomètre (et par extension le bras) reste toujours au même endroit [8].

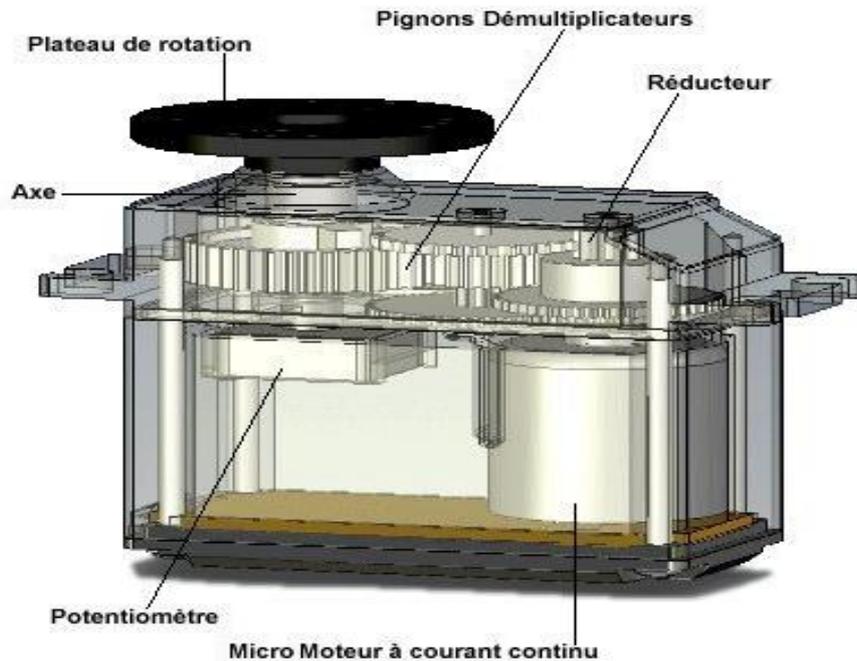


Figure II.14: Représentation des composants du servomoteur.

7-2-Différente technologie de gestion des servomoteurs : Analogique ou Numérique

La commande est identique, tout se passe dans le boîtier du servomoteur. Un servomoteur analogique est asservi avec un circuit analogique d'une fréquence faible, alors qu'un servomoteur numérique est asservi par un microcontrôleur avec une fréquence élevée. Un système numérique a donc un temps de réponse plus rapide et une plus grande précision mais une consommation électrique plus importante.

7-3-Différents types de construction mécanique pour les pignons

7-1-1-Le nylon

Est prévu pour les applications standard et offre une excellente résistance à l'usure et dans le temps [9].

7-3-2-Kar bonite

Est 5 fois plus fortes que le nylon et offre une meilleure résistance à l'usure (la Kar bonite : Matériau composite plastique renforcé).

7-3-3-Le métal

Est parfait pour les applications difficiles et est 16 fois plus fort que le nylon.

7-3-4-Le titane

N'offre pratiquement pas d'usure après des années d'utilisation et 48 fois plus fort que les engrenages en nylon.

7-4-La vitesse d'un servomoteur

Un servomoteur a une vitesse exprimée de 0 à 60 degrés /s.

7-5-Le couple d'un servomoteur

Le couple **du servomoteur** est lié à la force qui s'exerce sur un point de l'axe de rotation du servomoteur. Il est exprimé par l'expression suivante :

$$C = F * R \quad (2.1)$$

C : couple du servomoteur (kilogramme-centimètre).

F : la force exercée sur le bras du servomoteur (kilogramme).

R : la distance où s'exerce la force (mètre).

7-6-Le poids maximum

Le poids maximal à une distance donnée est donné par la formule :

$$P_{max} = \frac{C}{d} \quad (2.2)$$

P_{max} : Poids de charge (en kg).

C : couple du servomoteur (kg.cm).

d : la distance où s'exerce le poids.

7-7-La partie mécanique

Le servomoteur possède plusieurs pignons (engrenages) en sortie du petit moteur cc. Cet ensemble est ce qui constitue le **réducteur**. Ce réducteur fait deux choses :

- d'une part il réduit la vitesse de rotation en sortie de l'axe du servomoteur (et non du moteur cc)
- d'autre part il permet d'augmenter le couple en sortie du servomoteur (là encore pas à la sortie du moteur cc).

L'intérêt de réduire la vitesse et d'augmenter le couple sert à pouvoir déplacer des charges lourdes. Le moteur cc peut tourner très vite, mais parce qu'ils ont une petite taille ils sont bien moins bons pour fournir du couple. Le réducteur est donc utilisé pour réduire la vitesse, car nous n'avons pas besoin d'avoir une vitesse trop élevée, et augmenter le couple pour ainsi pouvoir déplacer une charge plus lourde.

Le rapport de réduction du réducteur définit le couple et la vitesse de sortie (en sortie du réducteur) selon la vitesse et le couple d'entrée (en sortie du moteur cc) [8].

$$R = \frac{C_{sortie}}{C_{entrée}} \quad (2.3)$$

R : la valeur du réducteur.

C_{sortie} : Couple de sortie.

C_{entrée} : Couple d'entrée.

7-8-Le signal de commande

La consigne envoyée au servomoteur n'est autre qu'un signal électronique de type PWM. Il dispose cependant de deux caractéristiques indispensables pour que le servomoteur puisse comprendre ce qu'on lui demande. A savoir une fréquence fixe de valeur 50Hz (comme celle du réseau électrique) et d'une durée d'état HAUT elle aussi fixée à une certaine limite.

7-9-La fréquence fixe

Le signal que nous allons devoir générer doit avoir une fréquence de 50 Hz. Autrement dit, le temps séparant deux fronts montants est de 20 ms (Figure II.15). La formule qui donne la relation entre la fréquence (F) et le temps ou période (T) du signal est [9]:

$$F = \frac{1}{T} \quad (2.4)$$

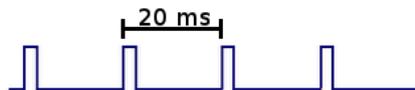


Figure II.15: Signal de fonctionnement du servomoteur de période 20 ms.

Caractéristiques du servomoteur

- Poids: 9 g.
- Dimension: 22.2 x 11.8 x 31 mm.
- Couple de décrochage: 1.8 kg cm.
- vitesse: 0.1 - 60 degré/s.
- Tension de fonctionnement: 4.8 V (5V).
- Largeur de bande morte: 10 μs.
- l'intervalle de température: 0°C – 55° C.

8-Capteur Ultrasons de type HC-SR04:

Le capteur à ultrasons (figure II.16) est un capteur qui fonctionne sur le principe similaire à un radar ou un sonar. Il génère un son à haute fréquence et calcule l'intervalle de temps

entre l'envoi du signal et la réception de l'écho. Par conséquent, un capteur à ultrasons peut être utilisé pour mesurer la distance [10].

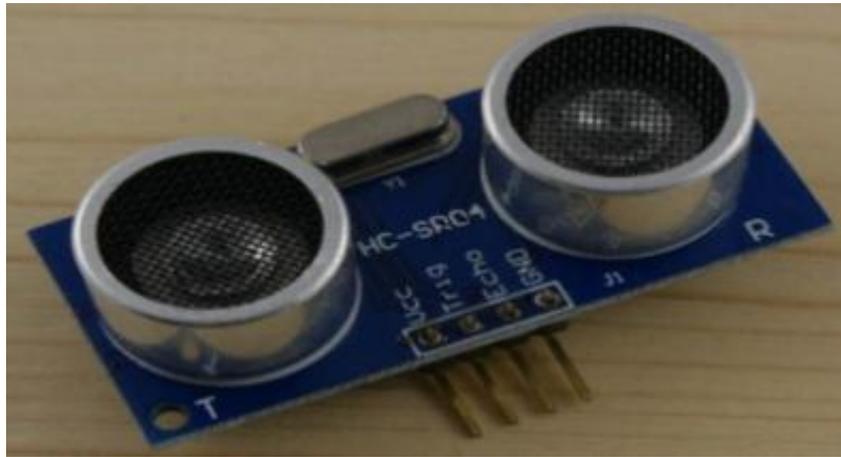


Figure II.16: Capteur ultrasons de type HC-SR04.

8-1-Principe de fonctionnement du capteur HC-SR04

Le capteur ultrason est constitué de deux transducteurs (Figure II.17) :

- un pour transmettre
- un pour recevoir.



Figure II.17: Détection d'obstacle par ultrason.

Le principe de fonctionnement du capteur est entièrement basé sur la vitesse du son.

Un capteur à ultrasons émet à intervalles réguliers de courtes impulsions sonores à haute fréquence. Ces impulsions se propagent dans l'air à la vitesse du son. Lorsqu'elles rencontrent un objet, elles se réfléchissent et reviennent sous forme d'écho au capteur. Les étapes nécessaires à une prise de mesure sont comme suit (Figure II.18) [11]:

- On envoie une impulsion HIGH de $10\mu\text{s}$ sur la broche TRIGGER du capteur.
- Le capteur envoie alors une série de 8 impulsions ultrasoniques à 40KHz (inaudible pour l'être humain).
- Les ultrasons se propagent dans l'air jusqu'à toucher un obstacle et retournent dans l'autre sens vers le capteur.
- Le capteur détecte l'écho et clôture la prise de mesure.

Le signal sur la broche ECHO du capteur reste à HIGH durant les étapes 3 et 4, ce qui permet de mesurer la durée de l'aller-retour des ultrasons et donc de déterminer la distance.

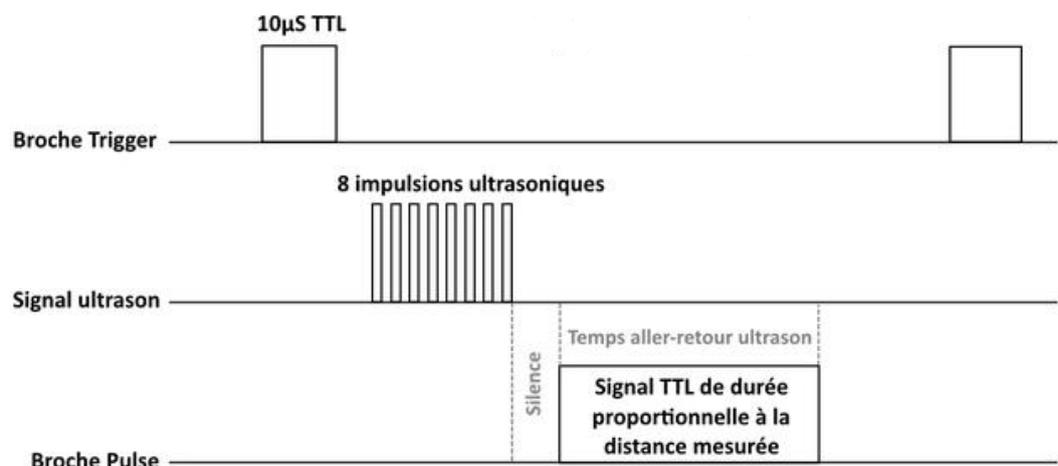


Figure II.18: Illustration des signaux Trigger et Echo.

Pratiquement tous les matériaux qui reflètent le son peuvent être détectés et ce, quelle que soit leur couleur. Même les matériaux transparents ou les feuilles minces ne représentent aucun problème pour un capteur à ultrasons.

8-1-1 Avantages et inconvénient de ce type de détection

La largeur du cône (30°) (Figure II.19) constitue à la fois un avantage et un inconvénient. C'est un inconvénient car un obstacle détecté n'est pas localisé précisément au sein du cône de détection. La mesure de position est donc relativement imprécise. C'est au contraire un avantage car cela permet de mieux balayer l'environnement et des éléments fins comme le pied d'une chaise seront détectés à coup sûr.

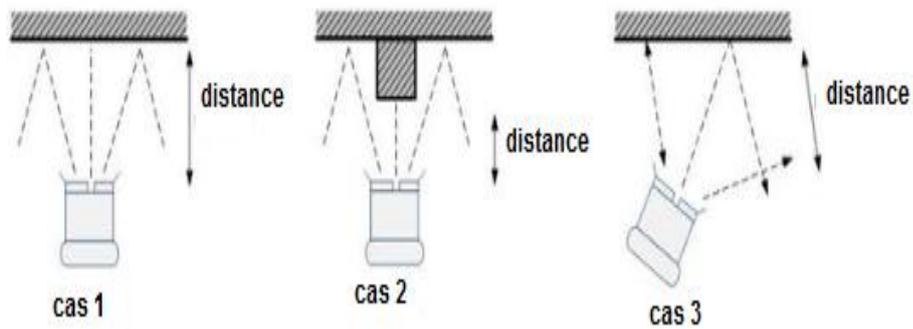


Figure II.19: Cas de détections d'obstacle.

Caractéristiques du capteur HC-SR04

- Alimentation: 5 V.
- Consommation: 15 mA.
- Fréquence: 40 kHz.
- Portée: de 2 cm à 500 cm.
- Déclenchement: impulsion TTL positive de 10 μ s
- Signal écho: impulsion positive TTL proportionnelle à la distance.
- Dimensions: 43 x 20 x 15 mm.

9-Batterie

L'alimentation des composants est garantie par deux piles de 3.7V (Figure II.20) d'ampérage 3000 milliampère (mAh), embarquées sur notre robot mobile.



Figure II.20: Batterie au Lithium 3.7V

10-Le module RF433 MHZ

Le module RF433MHz (module radiofréquence) est un petit composant électronique utilisé pour la transmission et la réception des informations sous forme de signaux radio entre deux appareils situés à courte distance (Figure II.21)



Figure II.21: Module RF433 MHz émetteur-récepteur.

10-1-Principe de fonctionnement

Le module émetteur prend l'entrée série et transmet ces signaux. Les signaux transmis sont reçus par le module récepteur placé à distance de la source de transmission. Les signaux RF sont transmis à une fréquence particulière et à un débit en bauds. Un récepteur peut recevoir ces signaux seulement s'il est configuré pour cette fréquence.

L'émetteur n'émet aucune puissance lors de la transmission du zéro logique tout en supprimant complètement la fréquence porteuse, ce qui consomme donc une puissance significativement faible en fonctionnement sur batterie. Lorsque la logique est envoyée, la porteuse est entièrement à environ 4,5 mA avec une alimentation de 3 volts. Les données sont envoyées en série à partir de l'émetteur elles sont reçues par le récepteur accordé (Figure II.22)

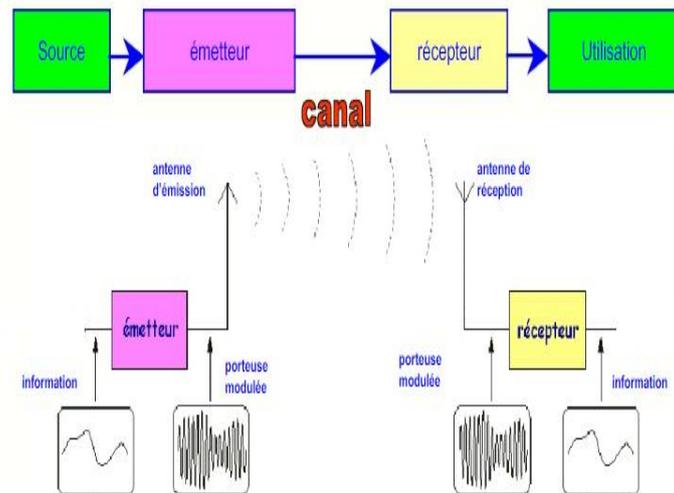


Figure II.22: Transmission et réception d'informations par onde radio

10-2-La transmission

L'information est convertie par un capteur en un signal électrique puis amplifiée et filtrée si nécessaire. Elle est transmise via un émetteur dans un canal de transmission. L'émetteur est composé d'un modulateur, d'un amplificateur de puissance et des dispositifs d'adaptation (Figure II.23)

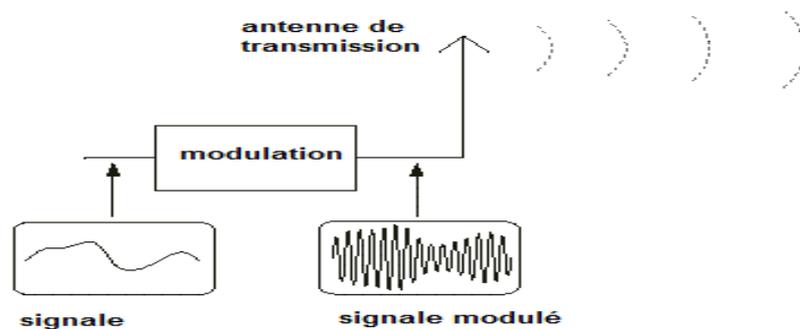


Figure II.23: Emission d'informations par onde radio.

Avant la transmission d'information de faible fréquence sous forme d'ondes électromagnétiques, il faut augmenter la fréquence par un signal porteur de haute fréquence. Cette étape s'appelle la modulation. La modulation utilisée dans ce module est : la modulation en amplitude (ASK).

L'information à transmettre est contenue dans un signal électrique de basse fréquence. Pour le transporter, on utilise une « onde porteur » de haute fréquence.

L'amplitude de l'onde porteur est modulée par le signal électrique de basse fréquence (Figure II.24)

Ceci est effectué par un modulateur.

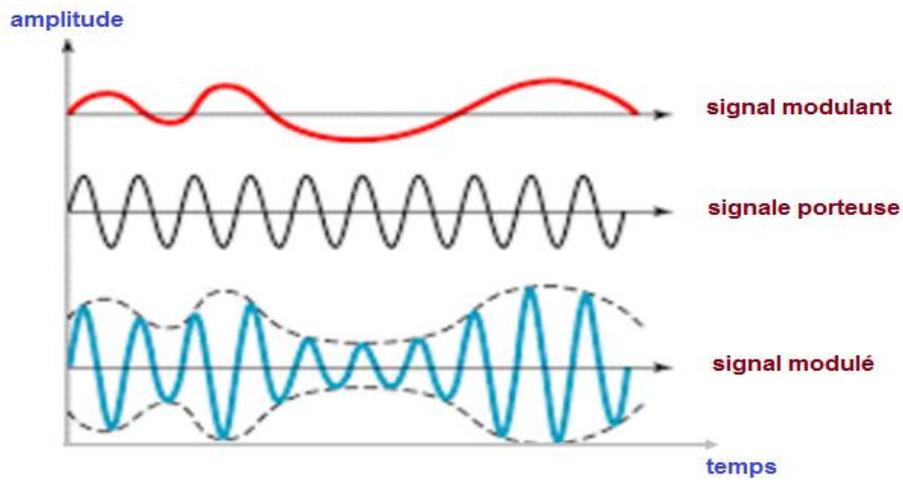


Figure II.24:modulation du signal

Dans la modulation en amplitude, la porteuse est modulée en amplitude, c'est-à-dire que des variations d'amplitude de ce signal permettent de traduire le message à transmettre.

La modulation est faite par un composant électronique qui s'appelle : le multiplieur (Figure II.25)

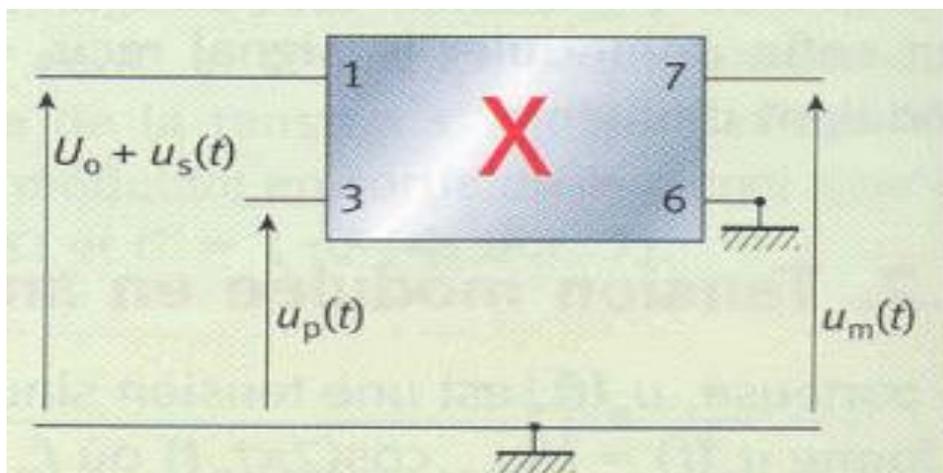


Figure II.25:Le multiplieur.

10-2-1-Avantages principales de la modulation

La technique de modulation permet d'avoir :

- Des distances de communications très grandes.

- La transposition en hautes fréquences permet d'obtenir un signal à spectre étroit ce qui réduit l'effet des distorsions introduites par le canal de transmission.
- Une immunité à certains bruits.
- Possibilité de multiplexage permettant de transmettre plusieurs informations simultanément sur le même canal.

10-3-La réception

Le cœur du récepteur est constitué un démodulateur. Etant donné que le signal contenant l'information à transmettre est généralement basses fréquences, pour le récupérer en passe a l'étape inverse de la de modulation c'est la démodulation (Figure II.26)

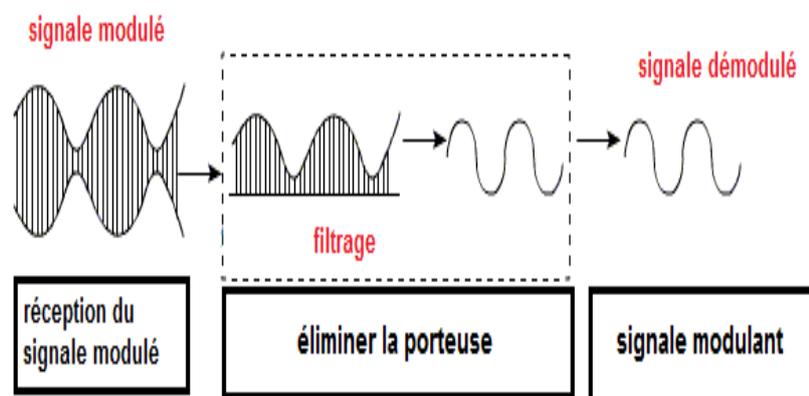


Figure II.26: Démodulation d'un signal.

10-3-1 Les étapes pratiques de la démodulation

a-Première opération : la suppression des alternances négatives

Le montage à utiliser (Figure II.27) comporte une diode : il s'agit d'un montage redresseur simple alternance dans lequel la diode bloque les alternances négatives. La tension recueillie aux bornes du conducteur ohmique est une tension modulée redressée.

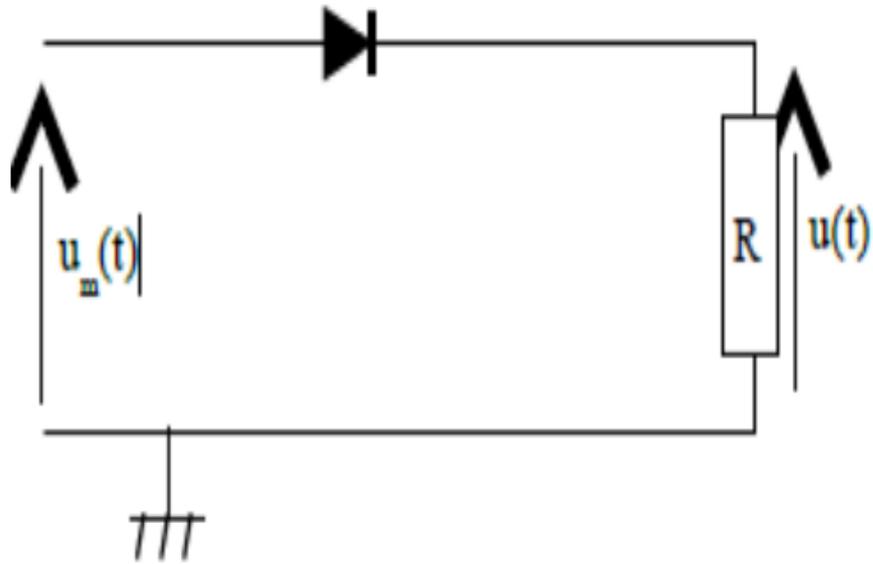
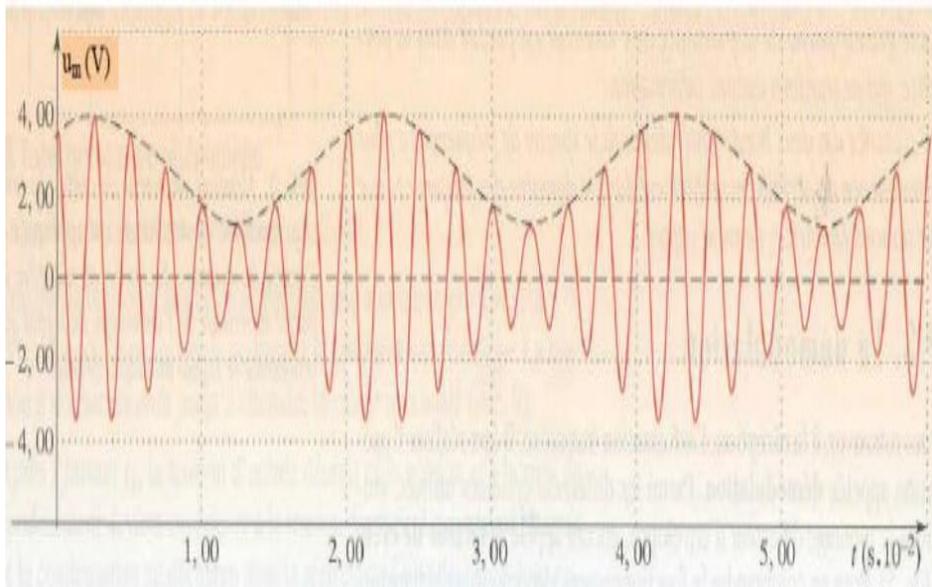


Figure II.27: Circuit de redressement

Les signaux prennent les allures illustres en figure II.28



(a)

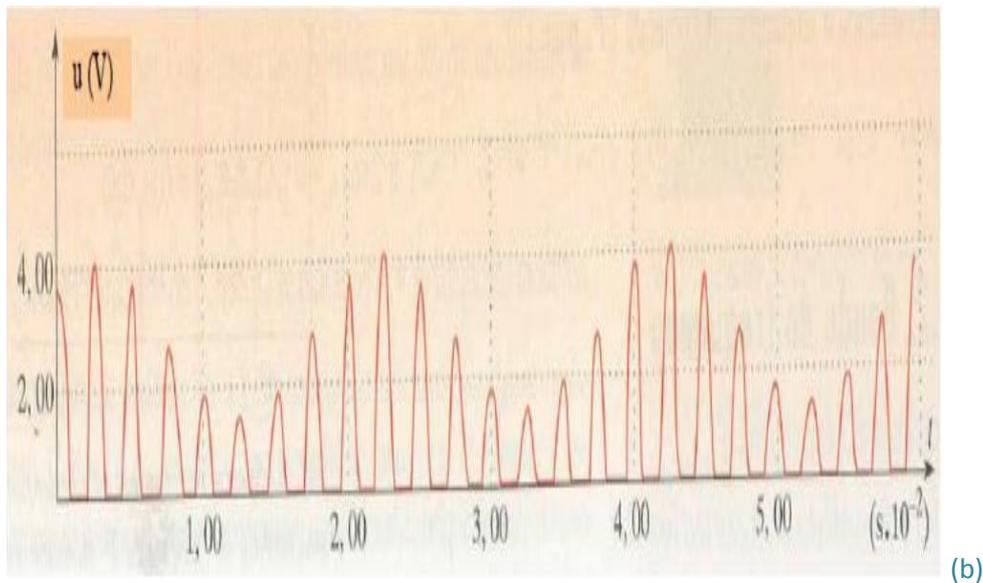


Figure II.28: Allure des signaux (a) avant redressement (b) après redressement

b- Deuxième opération : la suppression de la porteuse

L'opération consiste à ajouter un condensateur (Figure II.29) en dérivation aux bornes du conducteur ohmique du montage redresseur.

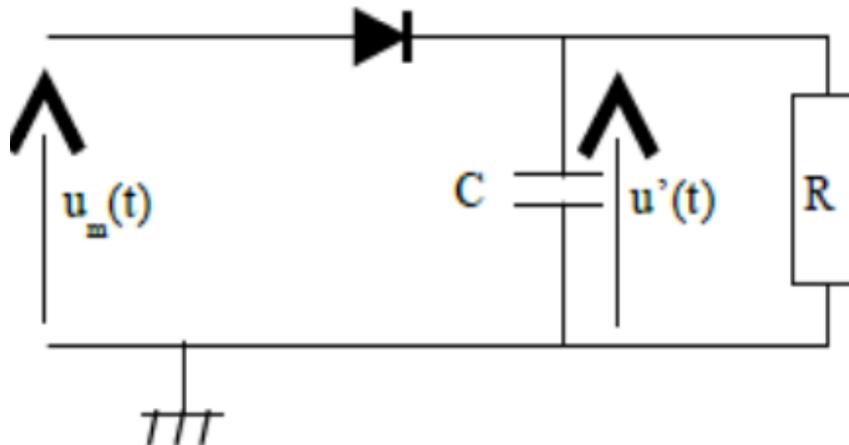


Figure II.29: Circuit de redressement et suppression de la porteuse

Les caractéristiques du Module RF433 MHz

- Émetteur et récepteur simplex sans fil (RF)
- Tension de fonctionnement du récepteur: 3V à 12V
- Récepteur Courant de fonctionnement: 5.5mA
- Fréquence de fonctionnement: 433 MHz
- Distance de transmission: 3 mètres (sans antenne) à 100 mètres (maximum)

- Technique de modulation: ASK (modulation par déplacement d'amplitude)
- Vitesse de transmission de données: 10Kbps
- Type de circuit: Résonateur à scie
- Faible coût et petit paquet

11-Capteur infrarouge

Le capteur infrarouge (Figure II.30) est un capteur qui utilise les ondes infrarouge pour détecter les obstacles.

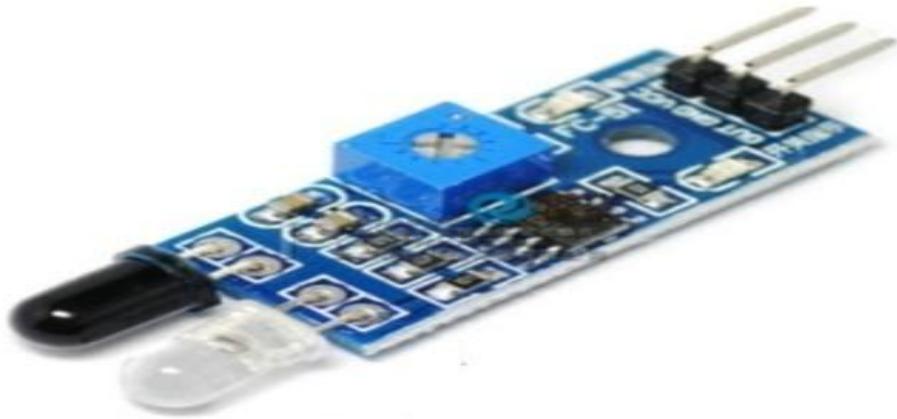


Figure II.30:Capteur infrarouge

11-1-Les Constitutions du capteur infrarouge

Le capteur infrarouge est constitué (figure II.31) :

- d'un récepteur qui détecte l'intensité lumineuse dans la gamme des lumières infrarouge
- d'émetteur, qui est une diode électroluminescente (LED) qui émet un pinceau de lumière infrarouge.

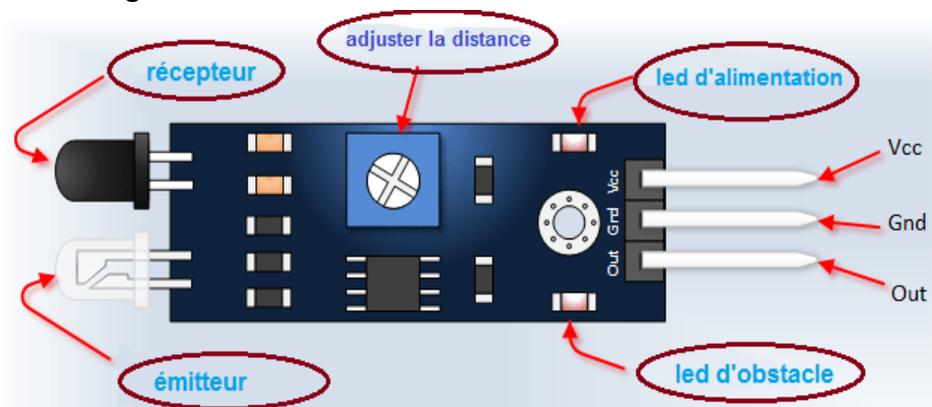


Figure II.31: Constituants du capteur IR

11-2-L'infrarouge

L'infrarouge est un rayonnement électromagnétique situé dans une région spectrale invisible à l'œil humain. Dans son application liée au recueil de données de trafic routier, ces capteurs sont à distinguer en deux grandes familles : les capteurs IR passifs dont le principe de fonctionnement est la réception selon une longueur d'onde choisie comprise dans la bande de longueur d'onde IR thermique ($3\mu\text{m} < \lambda < 15\mu\text{m}$), et les capteurs de type IR actifs basés sur le principe de l'émission et de la réception d'un faisceau modulé et dont la longueur d'onde est comprise dans la bande dite IR proche ($0,8\mu\text{m} < \lambda < 3\mu\text{m}$) [12].

11-3-Principe de fonctionnement

Le capteur infrarouge a un émetteur IR intégré et un récepteur IR qui envoie de l'énergie IR et recherche l'énergie IR réfléchiée pour détecter la présence de tout obstacle devant le module du capteur. Le module dispose d'un potentiomètre intégré qui permet à l'utilisateur d'ajuster la plage de détection. Le capteur a une très bonne et stable réponse même à la lumière ambiante ou dans l'obscurité complète.

11-4-Avantage du capteur infrarouge

Par rapport à un capteur ultrasons, un capteur infrarouge permettra une meilleure précision mais au détriment d'une largeur de cône de détection moins importante et d'une portée plus faible.

11-5-Inconvénient de capteur infrarouge

Le capteur infrarouge est sensible aux sources de lumière qui contiennent un fort rayonnement infrarouge et également à la couleur et à la nature des obstacles.

11-6 Les caractéristiques du capteur IR

- Tension de fonctionnement: 3.0V - 5.0V
- Plage de détection: 2cm - 30cm (réglable en utilisant le potentiomètre)
- Consommation de courant: à 3,3 V: ~ 23 mA, à 5,0 V: ~ 43 mA
- Niveau de sortie actif: Sorties Niveau logique bas lorsqu'un obstacle est détecté
- Indicateur DEL de détection d'obstacle à bord

Conclusion

Dans ce chapitre les composants principaux adaptés au robot réalisé ont été présentés. Leur avantages et leurs inconvénients ont été cités.

Chapitre 3

Réalisation pratique de la plateforme

Ce chapitre est consacré au principe de fonctionnement du robot, à l'algorithme utilisé pour le fonctionnement du robot ainsi qu'à la partie programmation. Une simulation sur Proteus est aussi introduite.

1- Principe de fonctionnement

1-1 Initialisation du robot

Au début le robot est positionné selon son propre repère (X_r, Y_r) avec une orientation par rapport à l'axe X_r qui vaut 0 comme angle d'orientation (Figure III.1). Ces coordonnées sont donc $(X_{ro}, Y_{ro}, \theta_0 = 0)$. Le repère (X, Y) définit l'environnement.

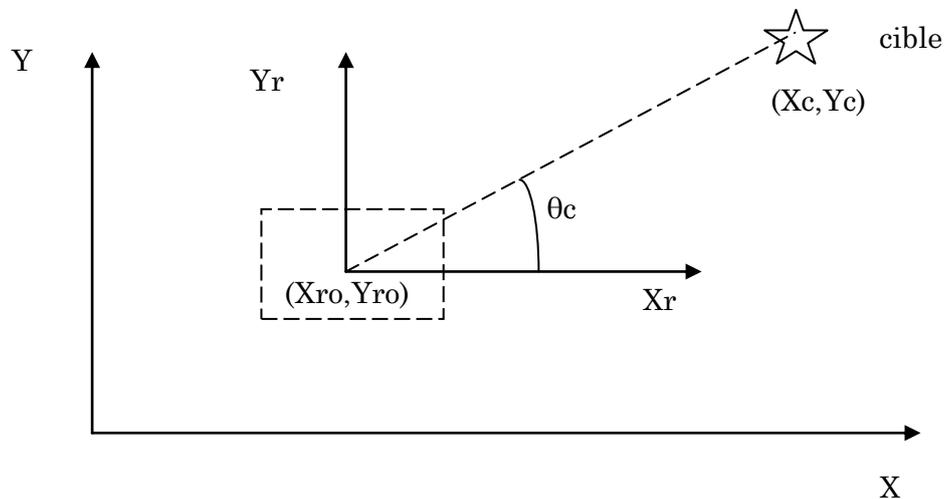


Figure III.1 : Initialisation de la position du robot

Le robot reçoit sa position initiale et la position de la cible (par rapport au repère (X, Y)) par l'intermédiaire du circuit RF. Les coordonnées de la cible sont notées $(X_c$ et $Y_c)$. Le robot doit procéder à son orientation vers la cible. Pour cela il évalue l'angle d'orientation θ_c (Figure III.1) en le calculant par l'intermédiaire de la formule suivante :

$$\theta_c = \text{Arctan}\left(\frac{d_y}{d_x}\right) \quad (3.1)$$

Ou

$$d_x = X_c - X_{ro} \quad (3.2)$$

$$d_y = Y_c - Y_{ro} \quad (3.3)$$

1-2 Déplacement du robot vers la cible.

1-2-1 Cas ou il n'y a pas d'obstacles entre le robot et la cible

Avant de démarrer vers la cible le robot fait un balayage de son environnement. Dans le cas ou il n'y aucun obstacle le robot se déplace vers la cible sur une distance égale a la distance utile pour atteindre la cible. Pour cela le robot doit continuellement calculer la distance qui le sépare de la cible.

Lorsque cette distance atteint une valeur de 4 cm, valeur imposée dans notre cas, le robot s'arrête.

1-2-2 Cas de présence d'obstacles entre le robot et la cible

Dans ce cas la le robot opère de la même façon que précédemment (calcul des distances parcourues) mais lorsqu'il détecte un obstacle il se réoriente pour éviter l'obstacle. L'orientation se fait en changeant de direction ce qui nécessite le calcul de la valeur d'un angle permettant cette orientation. L'expression permettant le calcul de la valeur de l'angle est comme suit :

$$\Delta\theta_k = \frac{d_d - d_g}{L} \quad (3.4)$$

avec

$$d_d = \frac{2 * \pi * r * N}{n_d} \quad (3.5)$$

$$d_g = \frac{2 * \pi * r * N}{n_g} \quad (3.6)$$

tel que

d_d : la distance parcourue par la roue droite

d_g : la distance parcourue par la roue gauche

n_d et n_g : les nombres de tics des codeurs droit et gauche.

N : le nombre d'impulsions pour n tours.

r : le rayon de la roue.

La distance parcourue par le robot (d_c) est égale a la somme des distances parcourues par les deux roues divise par 2 :

$$d_c = \frac{d_d + d_g}{2} \quad (3.7)$$

Une fois l'obstacle dépasse (connaissance du dépassement détecte suite aux résultats du balayage), le robot il se réoriente vers la direction initiale orientée vers la cible (Figure III.2) pour continuer son trajet vers son objectif. S'il y a une nouvelle détection les étapes précédentes sont refaites.

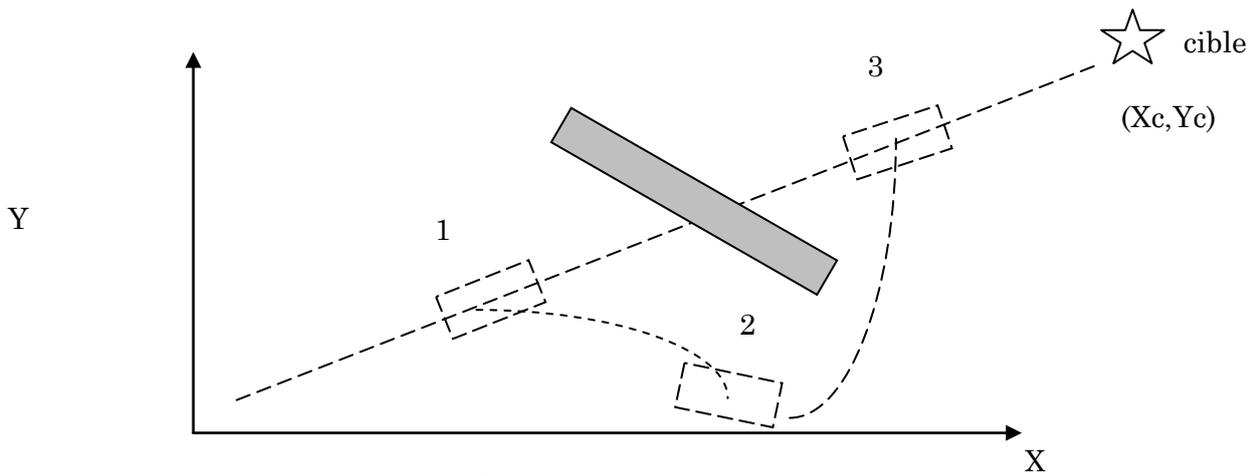


Figure III.2: Détection et évitement d'obstacle.

2- Calcul des vitesses des roues

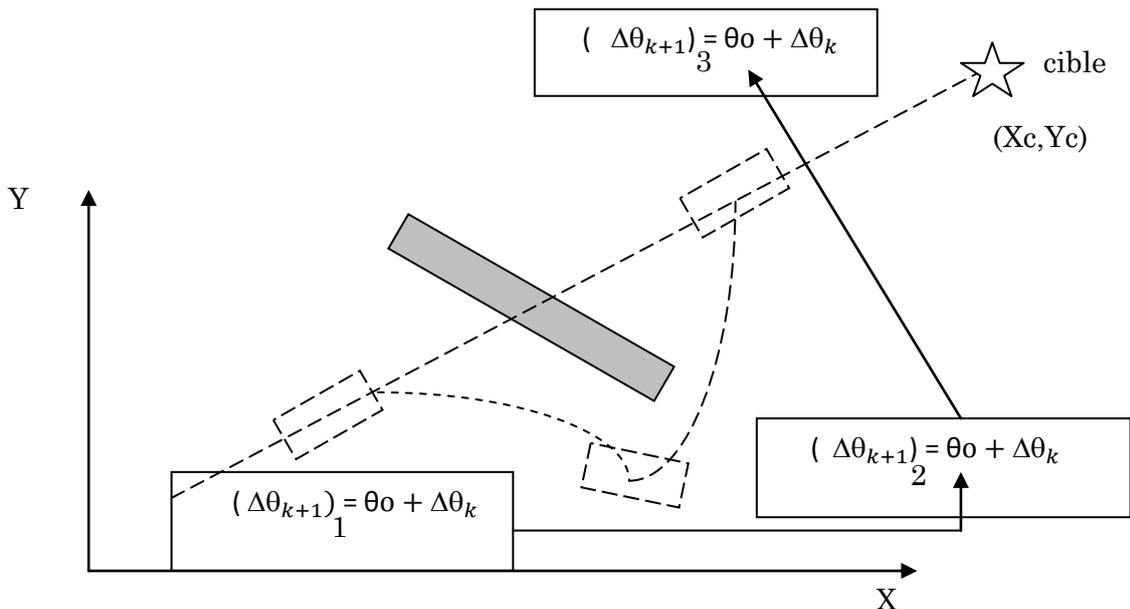
Pour calculer les vitesses des roues on se base sur le fait que le robot est positionné en un point de coordonnées $(x_0$ et y_0) et qu'il se déplace vers un autre point de coordonnées $(x$ et $y)$ avec une orientation $\Delta\theta_k$ (Figure III.3). L'ensemble de ces coordonnées est donné par les équations suivantes :

$$x = x_0 + d_c * \cos(\Delta\theta_k) \quad (3.8)$$

$$y = y_0 + d_c * \sin(\Delta\theta_k) \quad (3.9)$$

avec
$$\Delta\theta_{k+1} = \theta_0 + \Delta\theta_k \quad (3.10)$$

L'équation (3.10) exprime le fait que l'angle global d'orientation $\Delta\theta_{k+1}$ vaut l'orientation initiale plus l'orientation actuelle (Figure III.3)



(Figure III.3) : Evaluation de l'angle d'orientation globale

Alors les vitesses des roues droite et gauche, respectivement notées v_d et v_g et définies :

$$\dot{x} = v * \cos(\Delta\theta k) \quad (3.11)$$

$$\dot{y} = v * \sin(\Delta\theta k) \quad (3.12)$$

$$\dot{\theta} = w \quad (3.13)$$

$$v = \frac{r}{2}(v_d + v_g) \quad (3.14)$$

De l'équation (3.11) et (3.14):

$$\dot{x} = \frac{r}{2}(v_d + v_g) * \cos(\Delta\theta k) \quad (3.15)$$

De l'équation (3.12) et (3.14):

$$\dot{y} = \frac{r}{2}(v_d + v_g) * \sin(\Delta\theta k) \quad (3.16)$$

De l'équation (3.13) :

$$\dot{\theta} = \frac{r}{L}(v_d - v_g) \quad (3.17)$$

On obtient les équation de la vitesse droite et gauche respectivement:

$$v_d = \frac{2*v + w*L}{2*r} \quad (3.18)$$

$$v_g = \frac{2*v - w*L}{2*r} \quad (3.19)$$

3-Régulateur PID

Si le robot mobile a une erreur d'orientation vers la cible. On corrige cette erreur en utilisant un régulateur PID pour contrôler le robot (Figure III.4)

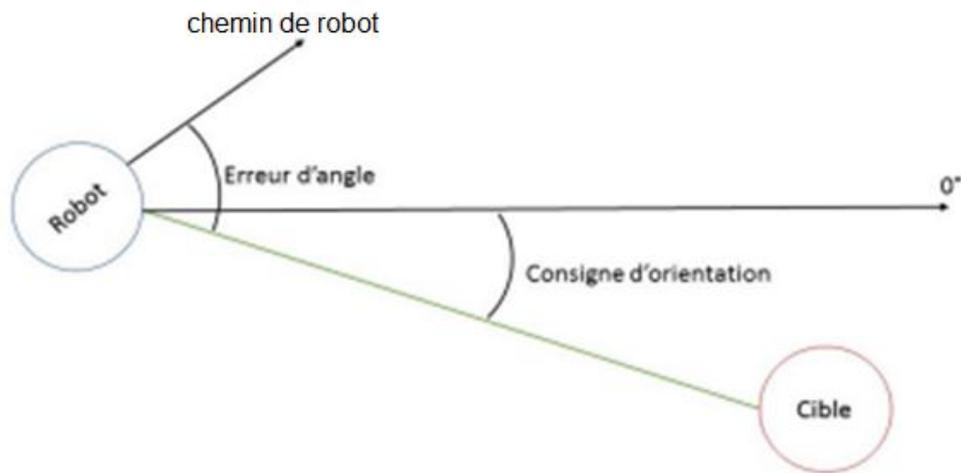


Figure III.4: Erreur dans le chemin de la cible.

La régulation PID (Proportionnelle Intégrale Dérivée) est une méthode efficace pour contrôler. Il sert à réduire l'écart qu'il y a entre une valeur de consigne et la valeur mesurée : l'erreur entre les coordonnées du robot et la consigne (la cible).

3-1-Les paramètres du PID :

Le rôle d'un algorithme de correction PID est d'améliorer 3 principales caractéristiques d'un système : la rapidité, la précision et la stabilité.

La régulation a également besoin de 3 paramètres qui sont des coefficients initialisés. Un paramètre pour la régulation proportionnelle (k_p), un paramètre pour la régulation intégrale (k_i) et un paramètre pour la régulation dérivée (k_d).

La manière la plus simple de choisir les paramètres est de le faire manuellement (par essais/erreurs) en changeant un paramètre à la fois.

k_p aura une influence sur la rapidité d'un moteur, k_i réduira l'erreur statique (erreur entre la valeur de la consigne et la valeur mesurée) et k_d réduira les oscillations engendrées.

3-2-Fonctionnement du PID :

L'erreur observée est la différence entre la consigne et la mesure. Le PID permet trois actions en fonction de cette erreur :

Une action Proportionnelle: l'erreur est multipliée par un gain k_p .

$$\text{Proportionnelle} = k_p * e(t) \quad (3.20)$$

Une action Intégrale : l'erreur est intégrée sur un intervalle de temps t , puis multipliée par un gain k_i .

$$\text{Intégrale} = k_i * \int_0^t e(t) * dt \quad (3.21)$$

Une action Dérivée : l'erreur est dérivée suivant un temps s, puis multipliée par un gain k_d .

$$\text{Dérivée} = k_d * \frac{de(t)}{dt} \quad (3.22)$$

$e(t)$: L'erreur entre la valeur mesurée et la consigne.

$$e(t) = \text{la valeur mesurée} - \text{la valeur de la consigne.}$$

Le signal de contrôle du robot: la vitesse angulaire, ou à quelle vitesse il change de cap) qui finit par être appliqué, est constitué de composantes P, I et D:

$u(t) = \text{Proportionnelle} + \text{Intégrale} + \text{Dérivée}$

$$u(t) = k_p * e(t) + k_i * \int_0^t e(t) * dt + k_d * \frac{de(t)}{dt} \quad (3.23)$$

Le contrôleur PID est un contrôleur de boucle fermée (Figure III.5)

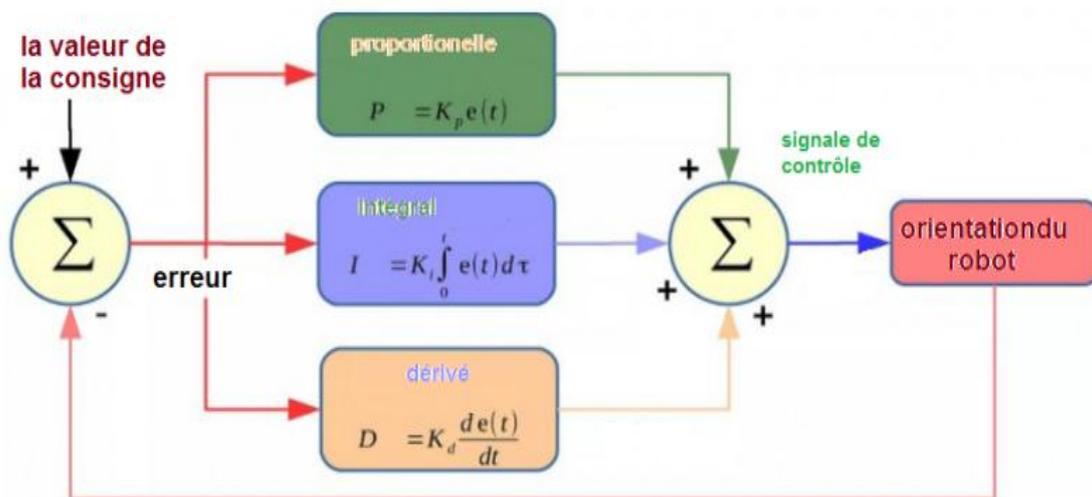


Figure III.5: asservissement par régulateur PID

3-3-Le fonctionnement du régulateur PID sur le robot

Le robot est parcouru avec des vitesses linéaires v_d et v_g , si le robot détecte un obstacle, il évite l'obstacle (Figure III.6) avec un changement de vitesse v_d et v_g . Il change le chemin vers la cible, le régulateur compare la nouvelle valeur mesurée et compare avec la valeur de la consigne. La comparaison c'est la valeur d'erreur $e(t)$.

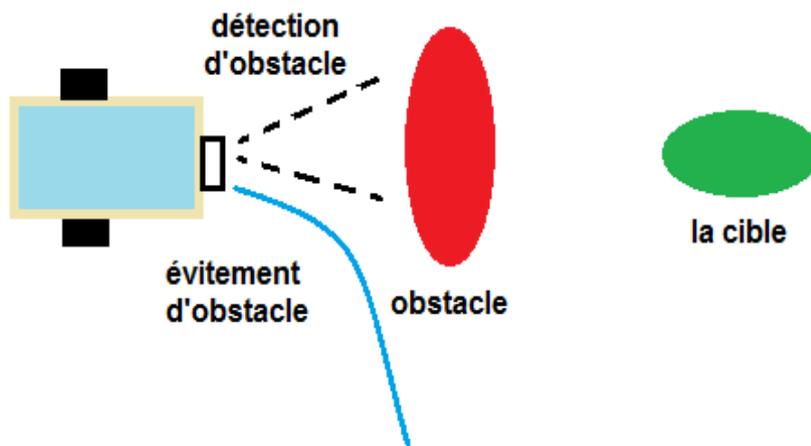


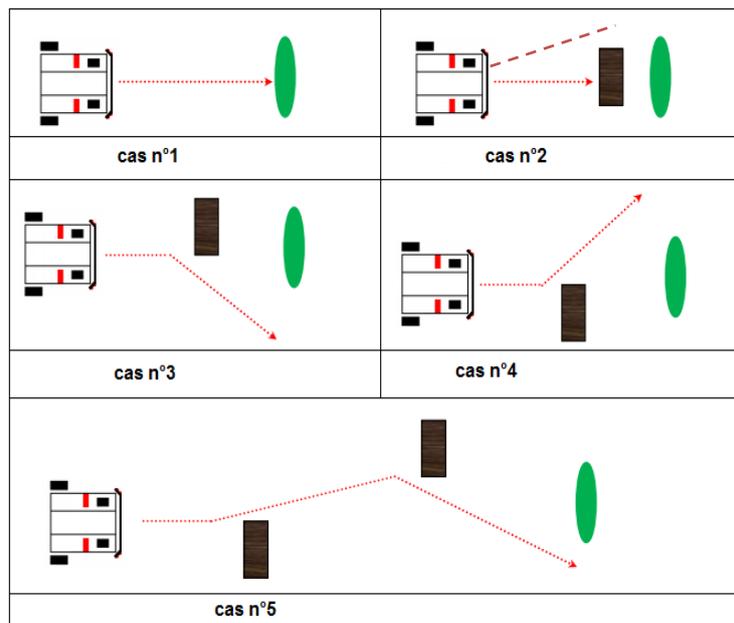
Figure III.6: Evitement d'obstacle par le robot

- Si $e(t) > 0$, le signal de contrôle : $u = u_{max}$
- Si $e(t) < 0$, le signal de contrôle : $u = -u_{max}$
- Si $e(t) = 0$, le signal de contrôle : $u = 0$

L'influence du régulateur PID est directement liée à la vitesse angulaire (w) car les vitesses linéaires (équations (3.18) et (3.19)) sont proportionnelles à cette

3-4 Scenarios d'évitement d'obstacles

Quelques cas de scenarios d'évitement d'obstacles sont illustres sur la figure III.7



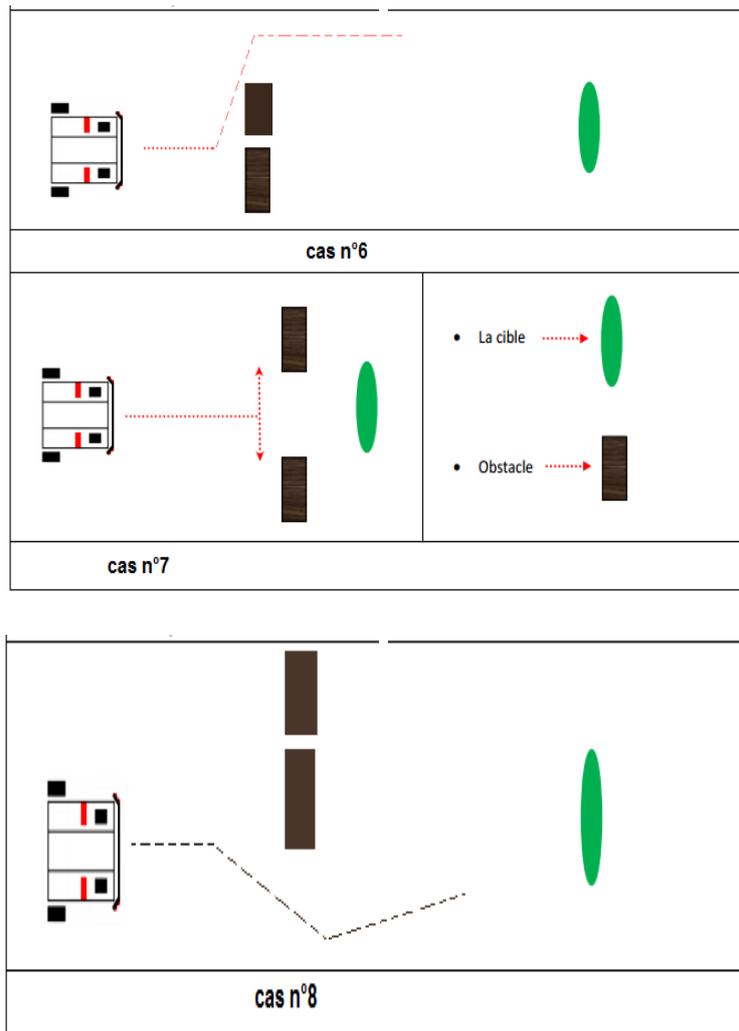
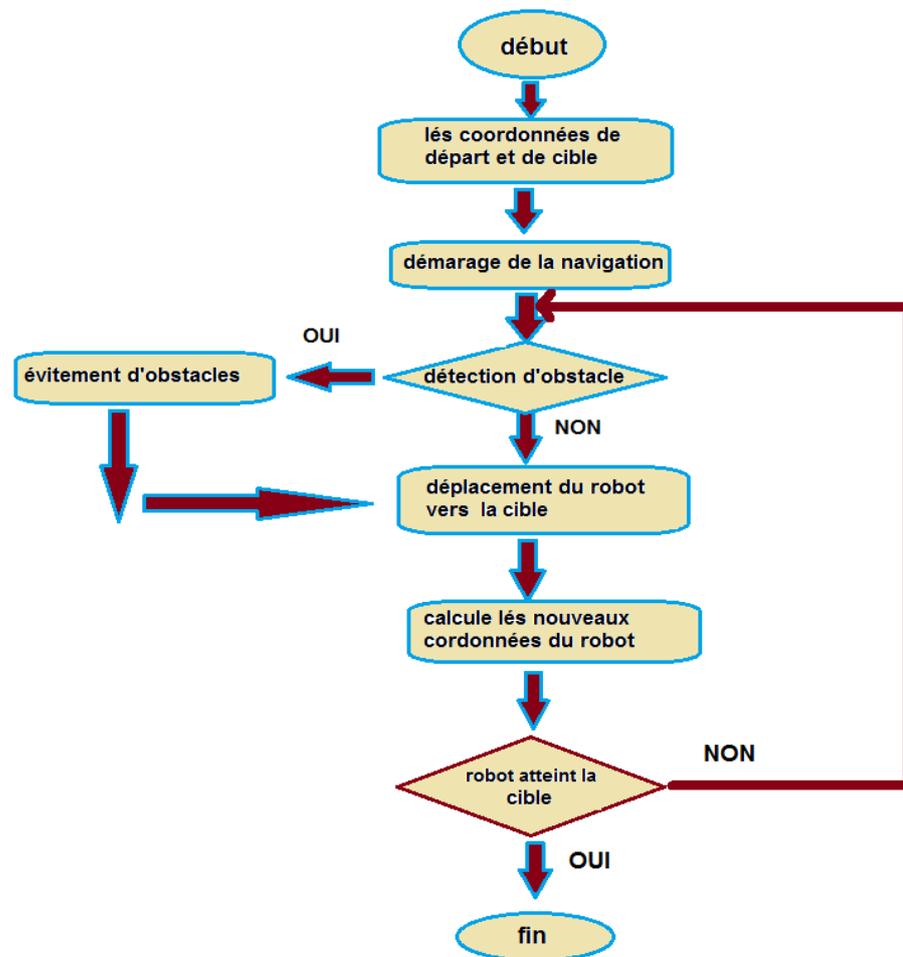


Figure III.7 : Scenarios d'évitement d'obstacles

- Le cas n°1 :Lorsqu'il n'y a pas d'obstacle, le robot marche en direction droite vers la cible.
- Le cas n°2 :Lorsqu'il y a un obstacle près de but, la plateforme évite l'obstacle de changer le chemin du robot vers la gauche, après l'évitement de l'obstacle le robot change sa direction vers la cible.
- Cas n°3 : Lorsqu'il y a un obstacle à gauche de la plateforme .le robot change sa direction vers la droite puis change sa direction autre fois vers la cible.
- Cas n°4 : Lorsqu'il y a un obstacle à droite de la plateforme, le robot tourne à gauche, puis change sa direction autre fois vers la cible.
- Cas n°5 : Lorsqu'il y a deux obstacles à droite et à gauche mais pas en face, dans ce cas la plateforme tourne à gauche puis à droite, puis prendre le chemin de la cible.
- Cas n°6 : Lorsqu'il y a deux obstacle en face et a droite du robot, la plateforme évite les obstacle de tourner vers la gauche, puis prendre le chemin de la cible.

- Cas n°7 :lorsqu'il ya deux obstacle a droite et a gauche du robot, le robot prendre un chemin droite d'une façon oscillatoire vers la cible.
- Cas n°8 : lorsque il ya deux obstacles a gauche du robot, la plateforme tourne a droite pour évite les obstacle puis récupère le chemin du cible.

Le principe de fonctionnement du robot mobile est résumé dans l'organigramme suivant :



4-Programmation

La programmation des différentes étapes de fonctionnement du robot mobile se fait par programmation de la carte arduino.

4-1-Programmation de l'opération de transmission :

Le transmetteur rf433 MHz envoie les coordonnées $(x_0, y_0, \theta_0, x_{cible}, y_{cible})$ (Figure III.8)

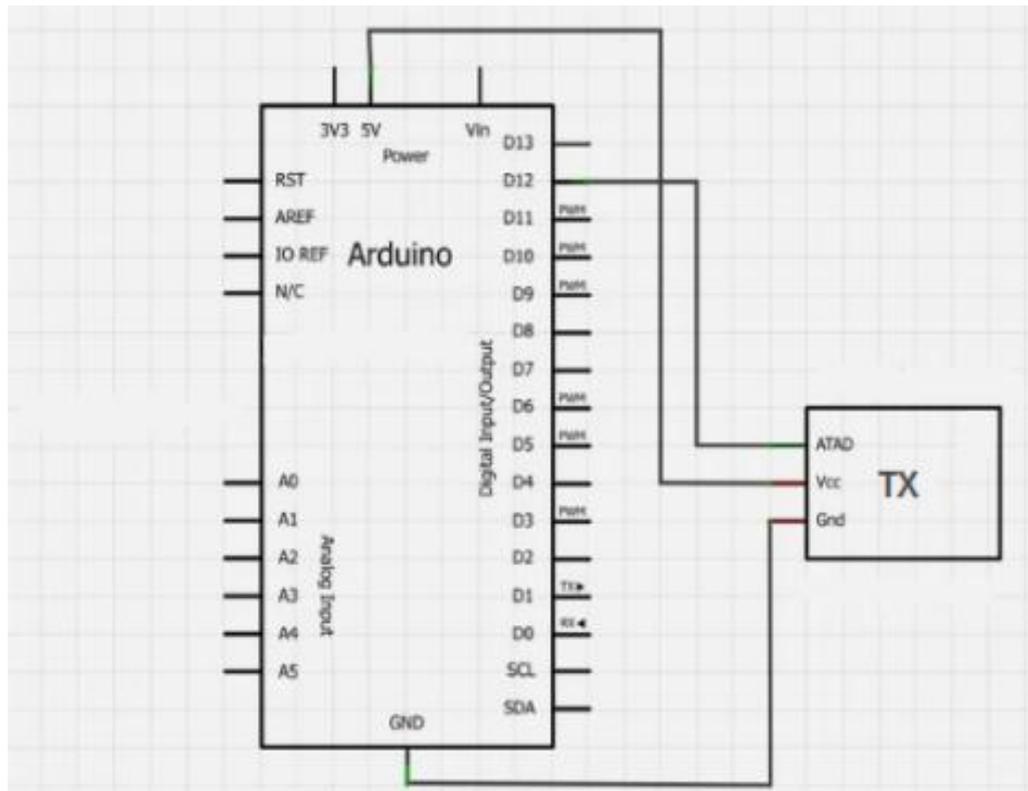


Figure III.8 : liaison émetteur RF433 MHz avec arduino.

4-1-1 pseudo code

```

void sendString(String message){
    byte messagelength=message.length()+1;
    char table[messagelength];
    message.toCharArray(table,messagelength);
    vw_send((uint8_t *)table,messagelength);
    vw_wait_tx();
    Serial.println("message is sended : "+message);
}

```

4-2- Programmation de l'opération de réception :

Le récepteur RF433 MHz reçoit les coordonnées pour commencer la navigation (Figure III.9)

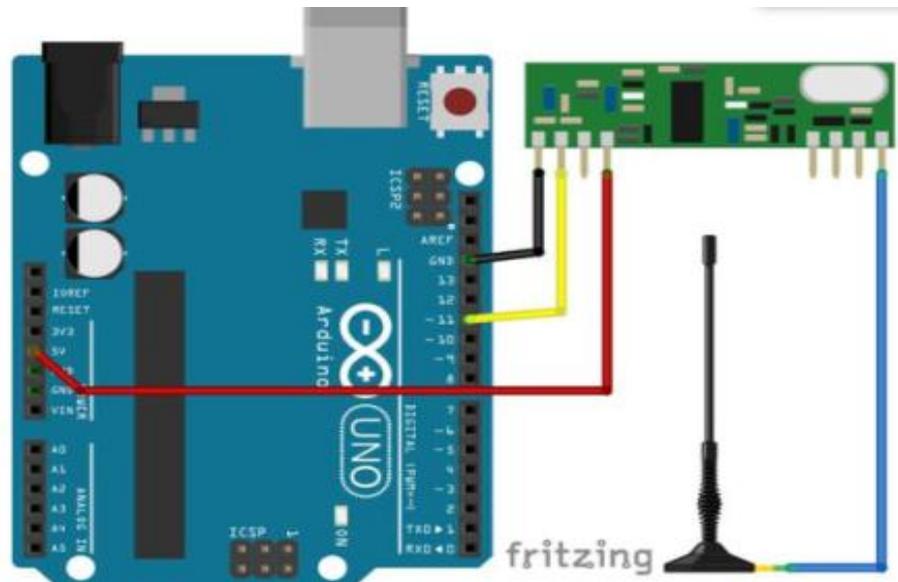


Figure III.9: Liaison du récepteur RF433MHz avec arduino

4-2-1 pseudo code :

```
uint8_t buflen = VW_MAX_MESSAGE_LEN;
uint8_t buff[VW_MAX_MESSAGE_LEN];
uint8_t buflen = VW_MAX_MESSAGE_LEN;
String rea;
String gea;

if (vw_get_message(buf, &buflen)
{
    count=count+1;
    int i;
    char tablechar[buflen];

    for (i = 0; i < buflen; i++)
    {
        Serial.write(buf[i]);
    }
    Serial.println();
    for(int j=0;j<buflen;j++){
        tablechar[j]=buf[j];
        rea=rea+tablechar[j];
    }
}
```

4-3 Programmation du fonctionnement du servomoteur

L'utilisation du servomoteur dans le robot a pour but de contrôler le balayage du capteur ultrason.

Le servomoteur se trouve a un position d'angle 180° (extrême gauche) et il varie la position du bras du servomoteur d'une façon décroissant avec un pas de 45° jusqu'a l'angle 0° puis d'une façon croissante avec un pas de 45° jusqu'a l'angle 180° (Figure III.10)

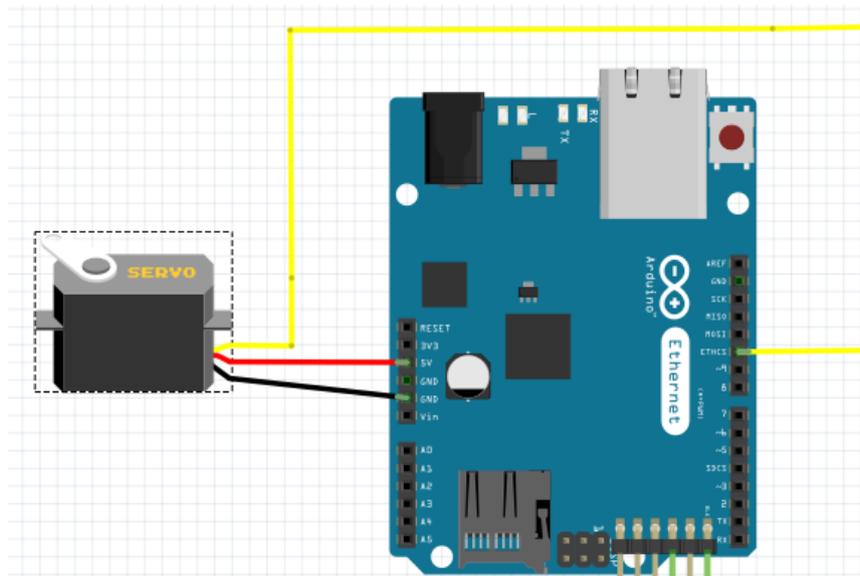


Figure III.10: Connexion du servomoteur avec la carte arduino.

4-3-1 pseudo code

```
void servo_to_right(){
    for(current = first_old; current >first; current--=increment){
        digitalWrite(servo, HIGH);
        delayMicroseconds(current);
        digitalWrite(servo, LOW);
        delayMicroseconds(Period);
    }
}
void servo_to_left(){
    for(current = finish_old; current <finish; current+=increment){
        digitalWrite(servo, HIGH);
        delayMicroseconds(current);
        digitalWrite(servo, LOW);
        delayMicroseconds(Period);
    }
    finish_old=finish;
}
```

4-4- Calcule de la distance entre le robot et l'obstacle

La distance d'obstacle est calculée à l'aide de la détection du capteur a ultrason. Ce dernier est connecte a la carte arduino selon la figure III.11

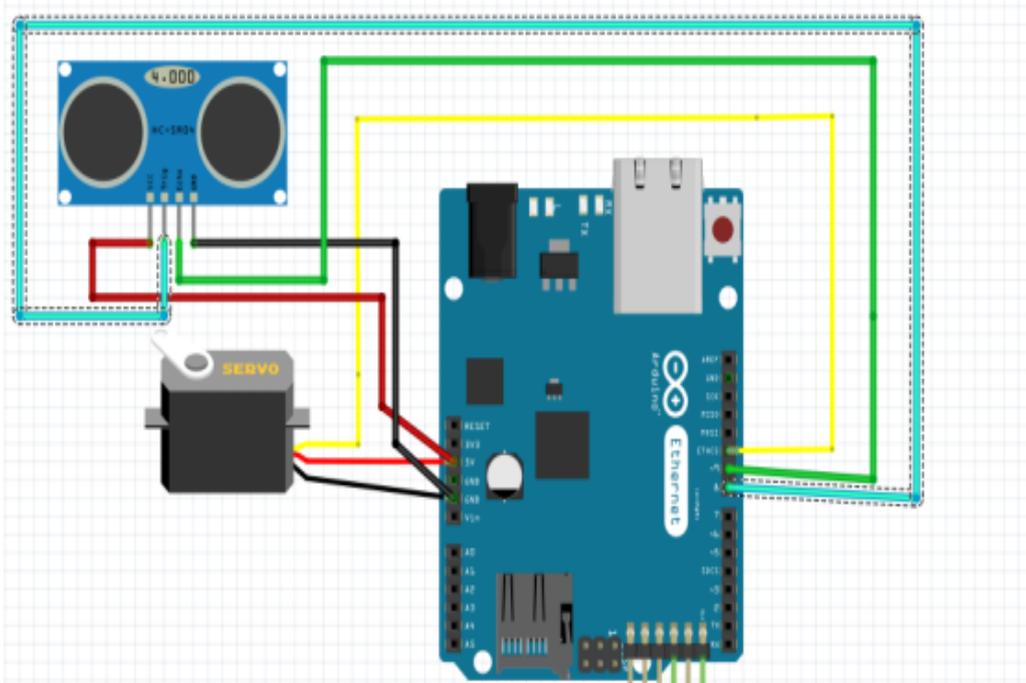


Figure III.11 : Capteur a ultrason connecté avec la carte arduino.

La distance est déterminée par le temps de propagation des ultrasons. Le principe est d'envoyer une impulsion de 10 μ s et on mesure le temps de l'impulsion de retour en microseconde, en utilisant la vitesse du son (dans l'air) soit 340m/s.

$$\text{Distance} = \text{vitesse} * \text{temps} \quad (3.24)$$

$$\text{Distance} = \frac{\text{temp mesuré} * 10}{0.340} = \frac{\text{temp mesuré}}{29.1 (\mu\text{s}/\text{cm})} \quad (3.25)$$

Mais ici on a la distance aller retour donc on va devoir diviser par 2 la distance ce qui nous donne :

$$\text{Distance} = \frac{\text{distance}}{2} \quad (3.26)$$

Et en simplifiant le calcul on aura :

$$\text{Distance} = \frac{\text{temp mesuré}}{58 (\mu\text{s}/\text{cm})} \quad (3.27)$$

4-4-1 pseudo code

```
void ultrason()
{
  digitalWrite(trig, LOW);
  delayMicroseconds(2);
  digitalWrite(trig, HIGH);
  delayMicroseconds(5);
  digitalWrite(trig, LOW);

  duration = pulseIn(echo, HIGH);
  distance = (duration / 26 / 2);

  if (distance > 100) {
    distance = 100;
  }

  Serial.print(distance);
  Serial.print(" cm");
  Serial.println();

  delay(50);
}
}
```

4-4-2 Le problème de la détection d'obstacle

La forme des obstacles (Figure III.12) joue un rôle essentiel car elle peut amener le robot à ne pas se représenter correctement son environnement.

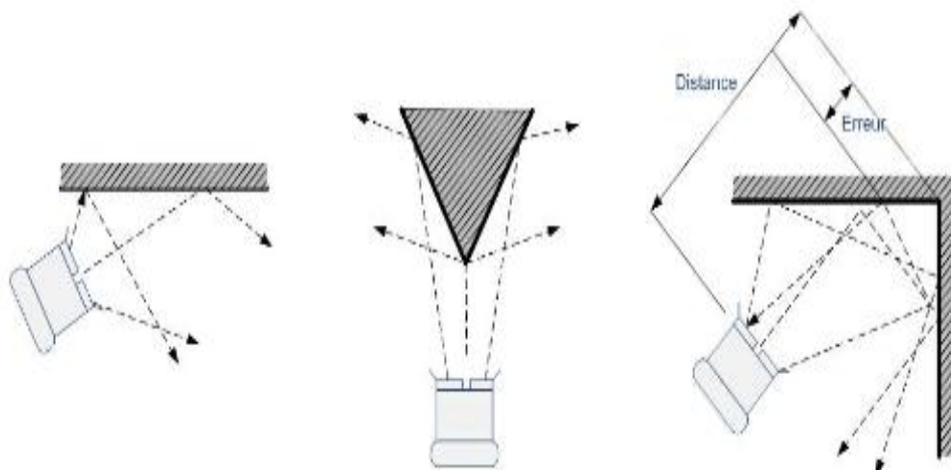


Figure III.12: Forme des obstacles.

Un mur recouvert de moquette réfléchira moins bien l'onde qu'un mur recouvert de peinture uniquement.

4-5-localisation du robot

La localisation du robot est de connaître la position actuelle du robot selon l'axe des abscisses et l'axe des ordonnées (les coordonnées cartésiennes).

4-5-1 pseudo code

```
void estimate_position () {
    encoderR();
    D_countR = countR_new - countR_old;
    D_countL = countL_new - countL_old;

    DR = 2* pi * R * D_countR / N ;
    DL = 2* pi * R * D_countL / N ;
    DC = (DR + DL)/2 ;

    X_new = X_old + DC * cos (tetha_old);
    Y_new = Y_old + DC * sin (tetha_old);
    tetha_new = tetha_old + ((DR - DL) / L);
}
```

4-6-contrôle l'angle d'orientation du robot

Lorsque la période de détection des obstacles est finie, les régulateurs PID sont définies le signal de contrôle qui permet de manipuler sur les vitesses linéaires pour permettre au moteur CC de commencer à fonctionner.

4-6-1 Pseudo code

```
dX = goalX - X_new;
dY = goalY - Y_new;

goal_tetha = atan2 (dY,dX);
error_tetha = goal_tetha - tetha_new;
error_tetha = atan2 (sin(error_tetha),cos(error_tetha));

error_P = error_tetha ;
P = Kp * error_P ;
error_I = error_tetha + error_I;
I = Ki * error_I ;
error_D = error_tetha - error2;
D = Kd * error_D ;

error2 = error_tetha ;

w = P+I+D ;

V_kanan = ((2*Vo + w*L)/(2*R))*1.1;
V_kiri = ((2*Vo - w*L)/(2*R))*1.22;
```

7-Simulation a l'aide du logiciel proteus

Après avoir vu le principe de fonctionnement et l'algorithme utilisé pour ce fonctionnement, il est utile avant de l'implémenter sur le robot, de l'évaluer sous simulation en utilisant le logiciel proteus. Les objectifs de cette simulation sont :

- Vérifier que le module rf433 émetteur récepteur envoie les données.
- Vérifier le fonctionnement du régulateur PID.
- Vérifier l'algorithme d'évitement d'obstacle.

7-1-Proteus

Proteus est une suite logicielle destinée à l'électronique. Développé par la société (Labcenter Electronics). Il est composé de deux logiciels principaux : ISIS, permettant entre autres la création de schémas et la simulation électrique, et ARES, dédié à la création de circuits imprimés.

7-2 Résultat de la simulation

Le câblage du circuit est illustre sur la figure III.13

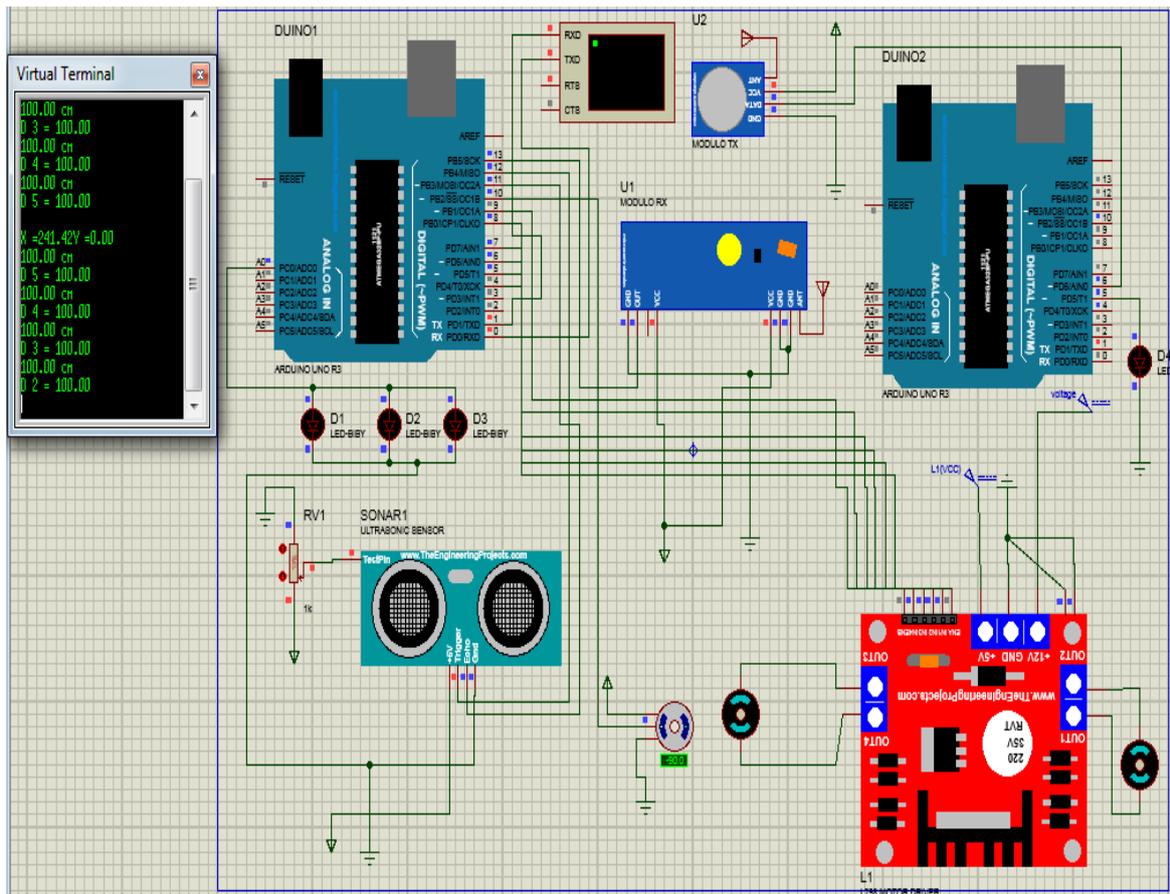


Figure III.13: Simulation des composants du robot sur proteus.

Conclusion

- La simulation sur Proteus permet de perfectionner et améliorer le fonctionnement du robot mobile avant l'implémenter sur la carte arduino.
- Le nombre de capteur utilise est insuffisant pour balayer toutes les directions.
- Le capteur ultrason a une précision moindre pour balayer l'environnement.

CONCLUSION GENERALE

- Dans ce mémoire nous avons traité le problème de la navigation autonome d'un robot mobile dans un environnement statique, la stratégie utilisée repose sur la perception de l'environnement pour piloter le robot vers un point dans l'espace (la cible).
- La réalisation de ce projet de bout en bout nous a permis d'approfondir nos connaissances dans beaucoup de domaines.
- En cas d'un terrain accidenté il faut utiliser une autre structure robot mobile de genre tous terrain car notre structure (la plateforme expérimentale « Aurès Robot ») navigue uniquement sur un terrain plat.
- Pour obtenir une précision exacte à notre application il est préférable d'utiliser un télémètre ultrasons.
- La structure mobile besoin des détecteurs d'obstacle à l'extrémité du cotés droite et gauche du partie arrière pour éviter les collisions avec les obstacle.
- L'utilisation du régulateurs PID permet de contrôler le robot mobile d'une façon précis.
- Les détecteurs à ultrasons que nous avons utilisés possèdent une précision moins pour la détection des obstacles.
- Notre travail reste très modeste en comparaison avec ce qui peut réellement être accompli avec plus de moyens, mais a le mérite de pouvoir être un point de départ pour des études plus complexes et plus poussées de systèmes de plus en plus compliqués.

Référence :

[1]Mechalikh Yousef, Développement d'algorithmes d'évitement d'obstacles statiques et dynamiques, Université Kasdi Merbah–Ouargla, environnement dynamiques, la localisation absolue, 2012.

[2]Lobna amouri -jamaiel, contribution a la commande et au pilotage réactif de robots mobile, thèse de doctorat, école nationale d'ingénieurs de Sfax, Les informations extéroceptives, localisation passive et active, 20 février 2012.

[3] Oualid DJEKOUNE, USTHB Alger, la localisation relative, l'odomètre, 15 décembre 2010.

[4]Bouali Abdelmalek, Planification de trajectoire pour un robot mobile, Université El-Hadj Lakhdar – BATNA, 30 /06/2012.

[6] <https://openclassrooms.com/courses/programmez-vos-premiers-montages-avec-arduino/le-moteur-a-courant-continu-partie-2-le-pont-en-h-et-les-circuits-integres>.

[5] <https://ardwinner.jimdo.com/arduino/iv-les-moteurs-continus/3-faire-tourner-un-moteur-dc-bidirectionnel-avec-un-module-1298n/>

[7]<http://www.flegrand.fr/scidoc/docmml/sciphys/arduino/paspas/paspas.html>.

[8] <https://eskimon.fr/tuto-arduino-602-un-moteur-qui-a-de-la-t%C3%AAte-le-servomoteur>.

[9] <http://www.redohm.fr/2015/12/les-servomoteurs>.

[10]<http://www.electronicwings.com/sensors-modules/ultrasonic-module-hc-sr04>.

[11] <https://www.carnetdumaker.net/articles/mesurer-une-distance-avec-un-capteur-ultrason-hc-sr04-et-une-carte-arduino-genuino>.

[12] <https://www.universalis.fr/encyclopedie/infrarouge>.

