

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 de Fin d'Études

présenté par

MESSAADIA Benyoucef

&

NECHAB Hamza

pour l'obtention du diplôme du master en Électronique option Système de Vision et Robotique

Thème

Réalisation d'un système de balise active comme support pour la navigation du robot mobile

Proposé par : **Mr. KAZED Boualem**

Année Universitaire : 2012-2013

Remerciements



Remerciements

Nous tenons à remercier tout d'abord Allah, tout puissant qui nous a donné durant toutes ces années la santé, le courage et la foi en nous-mêmes pour arriver à ce niveau là.

Un grand merci à Mr KAZED Boualem, notre maître et promoteur, pour son esprit scientifique et compréhensif, pour son encadrement, sa patience et pour toute l'aide qui nous a porté à notre travail.

Nos remerciement à tous les enseignants et les personnels de l'administration de département d'électronique, et en précisant les Jurys pour l'honneur qu'ils nous font en acceptant de juger notre travail.

Nous remercions nos familles en particulièrement nos parents respectifs, nos frères et sœurs sans oubliant nos ami(es).

Nous tenons aussi à remercier les membres de la promo SVR 2013.

Finalement, nous remercions tous ceux qui ont participé de près ou de loin à l'achèvement de ce travail, et qui ont toujours été disponibles en cas de besoin.

Dédicace

Je dédie ce modeste travail en premier lieu, à mes chers parents, ma tante et à ma grande mère, qui ont semé les grains d'ambition et de volonté sur mon chemin, pour leurs soutiens et sacrifice et leurs encouragements dans ma vie pour aller jusqu'au bout.

Pour ma grande et ma petite famille, Amine, Sidali, Mohamed, Oussama...

À tous mes amis, à Rachid, Hamza et Ami qui m'ont aidée et me donnée le souffle de continuer à ce travail malgré les obstacles.

Ainsi à tous ceux qui me sont chers sans exception...

Chacun par son nom...

Et à tous ceux avec qui j'ai partagé les meilleurs moments.

Je vous dis mille mercis, en sachant que quoi que je fasse je ne vous remercierai jamais assez.

À mes parents, ma famille, mes amis...

Sans vous, tout serait difficile... *En...*

M. Benyoucef

Résumé



Résumé :

Le travail présenté dans ce mémoire est une contribution à la conception et à la réalisation d'un robot mobile autonome, ce robot est contrôlé et commandé par une carte de puissance électronique à l'aide d'un microcontrôleur "Arduino Uno".

Le principe de fonctionnement du système, est que le robot se déplace vers une balise lorsqu'il reçoit un signal infrarouge émit par cette balise. Le robot corrige son angle et avance vers la balise détectée pour faire des opérations désirées.

ملخص:

الهدف من هذا المشروع هو تصميم و إنجاز روبوت متحرك ذو تحكم ذاتي , التحكم في هذا الروبوت يكون بواسطة بطاقة إلكترونية و بمساعدة ميكرومراقب.

مبدأ عمل هذا المشروع هو تحرك الروبوت نحو باعث معين عندما يتلقى إشارة ما تحت الحمراء من هذا الأخير, فيصح الروبوت مساره و يتقدم نحو هذا الباعث للقيام بعمليات مرغوب بها.

Abstract :

The aim of this project is the conception and realization of an autonomous mobile robot. This robot is controlled and ordered by an electronic power card that contains microcontroller "Arduino Uno".

The principle of working of the system is moved the robot to an emitter beacon if it receives an infrared signal from this beacon. The robot corrects his angle and advance to a detected emitter to make wanted operations.

Liste des abréviations

Mots clés :

DEL : diode électroluminescente.

IR : infrarouge.

CC : courant continu.

AC : courant alternatif.

GPS : système de positionnement global.

MLI : modulation de largeur d'impulsion.

EDI : espace de développement intégré.

Keywords :

LED : Light-Emitting Diode.

IR : Infrared.

DC: Direct Currant.

AC : Alternatif Currant.

GPS : Global Positioning System.

PWM : Pulse Width Modulation.

Table des matières

Introduction générale	1
Chapitre 1 : Généralités sur la robotique	
1.1 Introduction	3
1.1.1 Bref aperçu historique	3
1.1.2 Définition d'un robot mobile	5
1.2 Les différents types de robots mobiles	6
1.2.1 Les robots mobiles marcheurs	6
1.2.2 Les robots mobiles rampants	7
1.2.3 Les robots mobiles à chenilles	7
1.2.4 Les robots mobiles à roues	7
1.3 Domaines d'utilisation des robots mobiles	8
1.4 Le fonctionnement des robots mobiles	9
1.5 Les systèmes de perception	10
1.5.1 Les capteurs proprioceptifs	10
1.5.1.1 Les capteurs de déplacement	11
a. les odomètres	11
b. Les accéléromètres	12
1.5.1.2 Les capteurs d'attitude	12
a. Le gyroscope, gyromètre et gyrocompas	12
b. Le magnétomètre ou compas magnétique	13
1.5.2 Les capteurs extéroceptifs	13
1.5.2.1 Les capteurs télémétriques	14
a. Les capteurs à ultrasons	14
b. Les capteurs laser	14
1.5.2.2 Les systèmes de vision	15
1.6 Navigation	15
1.6.1 Définition de la navigation	15
1.6.2 Les stratégies de navigation	16
1.6.2.1 La navigation par carte	18
a. Navigation par carte topologique	18
b. Navigation par carte métrique	18

1.6.2.2	La navigation réactive	19
a.	Navigation par approche d'un objet	19
b.	Navigation par Guidage	19
c.	Navigation par association	20
1.6.3	Les différents types d'environnements en navigation	21
1.6.3.1	Navigation dans un environnement connu	21
1.6.3.2	Navigation dans un environnement partiellement connu	21
1.6.3.3	Navigation dans un environnement inconnu	21
a.	Navigation avec mémorisation de l'environnement	21
b.	Navigation sans mémorisation de l'environnement	21
1.7	Localisation en robotique mobile	22
1.7.1	Définition de la localisation	22
1.7.2	Les méthodes de localisation	22
1.8	Conclusion	23

Chapitre 2 : Emetteur récepteur infrarouge

2.1	Introduction	25
2.2	Les systèmes de réception infrarouges	25
2.2.1	Historiquement	25
2.2.2	Définitions	25
2.2.2.1	Définition de la LED	25
2.2.2.2	Définition d'un système de réception	26
a.	L'émetteur	26
b.	Le récepteur	26
2.2.3	Principe de fonctionnement	27
a.	Patrie émetteur	27
b.	Patrie récepteur	27
2.2.4	Réalisation pratique	28
2.2.5	Structure finale du circuit de la réception	29
2.2.6	Problème de transmission	29
2.2.7	Domaines d'application des systèmes infrarouge	30

a. Avantages	30
b. Inconvénients	30
2.3 La carte de commande Arduino	31
2.3.1 Définition de la carte Arduino Uno	31
2.3.2 Les caractéristiques de la carte Arduino Uno	31
2.3.2.1 Le microcontrôleur ATmega328p	32
2.3.2.2 L'alimentation	32
2.3.2.3 les entrées sorties de l'Arduino Uno	33
2.3.3 Présentation de l'Espace de Développement Intégré (EDI) Arduino	34
2.4 Conclusion	35

Chapitre 3 : La conception électronique et mécanique du robot mobile

3.1 Introduction	36
3.2 Partie mécanique	36
3.2.1 La conception mécanique de la plateforme mobile	36
a. Structure mécanique de la plateforme mobile	36
La plateforme ou le châssis	37
b. La locomotion	37
Les roues	37
La roue-bille	38
c. La motorisation	39
d. Les supports des moteurs	39
e. Le bouton d'arrêt d'urgence	40
f. Le bras manipulateur	40
3.3 Partie électronique	41
3.3.1 La conception électronique du robot mobile	41
a. Source d'énergie (la batterie)	41
b. Contrôle des moteurs	42
c. Le fonctionnement du pont H	42
d. La réalisation de la carte de puissance	44
3.3.2 La commande du moteur à courant continu par les signaux PWM	45
3.3.3 La variation de vitesse par commande des signaux PWM	45

3.3.4	Commande du robot	45
3.3.5	Le circuit récepteur	47
3.4	Structure finale du robot	48
3.5	Conclusion	48

Chapitre 4 : Tests et résultats expérimentaux

4.1	Introduction	49
4.2	Étude théorique	49
4.2.1	Le raccordement entre le PC et la carte Arduino	49
4.2.2	Le raccordement de l'Arduino avec le circuit récepteur	50
4.2.3	Les Microswitchs	50
4.2.4	La communication émetteur-robot	51
4.3	Les problèmes rencontrés	52
4.4	Étude pratique	53
4.4.1	La communication des interfaces	54
4.4.2	La table des essais (l'aire de jeu)	54
4.4.3	Le servomoteur	55
4.4.4	Organigramme des modules Microswitchs	56
4.4.5	Organigramme final de notre stratégie	57
4.4.6	L'orientation du robot vers les balises	58
4.4	Conclusion	59
	Conclusion générale	60
	Annexe 1	61
	Annexe 2	63
	Annexe 3	65
	Annexe 4	66

Liste des figures

Chapitre 1 : Généralités

Figure 1.1 : Le robot RUR	4
Figure 1.2 : Robot "Beast" de l'université John Hopkins dans les années 1960	4
Figure 1.3 : L'utilisation des robots dans les derniers temps	5
Figure 1.4 : Exemple d'un robot marcheur	6
Figure 1.5 : Exemple d'un robot rampant	7
Figure 1.6 : Exemple d'un robot à chenilles	7
Figure 1.7 : Exemple d'un robot mobile à des roues	8
Figure 1.8 : quelques exemples des robots et leurs domaine d'application	9
Figure 1.9 : (a) : Odomètre, (b) : Principe d'un encodeur optique	11
Figure 1.10 : Robot mobile à un point donné	12
Figure 1.11 : (a) : Gyroscope mécanique de foucault, (b) : Gyroscope à structure vibratoire.....	13
Figure 1.12 : Magnétomètres	13
Figure 1.13 : Capteur ultrason	14
Figure 1.14 : Principe de fonctionnement du capteur ultrason	14
Figure 1.15 : (a) : Capteur laser, (b) : Principe du capteur infrarouge	15
Figure 1.16 : Capteur CCD	15

Chapitre 2 : émetteur récepteur infrarouge

Figure 2.1 : Symbole de la diode électroluminescente	25
Figure 2.2 : Diodes infrarouge	26
Figure 2.3 : Récepteur des signaux infrarouge	26
Figure 2.4 : Branchement de la LED infrarouge à l'Arduino	27
Figure 2.5 : Le récepteur TFMS 5300	28
Figure 2.6 : Modulation émetteur-récepteur	28
Figure 2.7 : Schéma et circuit imprimé de la carte de réception	29
Figure 2.8 : Le circuit récepteur avec le TFMS 5300	29
Figure 2.9 : Schéma simplifié d'un microcontrôleur	32
Figure 2.10 : La carte de commande Arduino Uno	33
Figure 2.11 : Présentation de la fenêtre EDI de l'Arduino Uno	34

Chapitre 3 : La conception électronique et mécanique du robot mobile

Figure 3.1 : Structure mécanique de la plateforme mobile	36
Figure 3.2 : La plateforme du robot mobile	37
Figure 3.3 : Les roues du robot mobile	38
Figure 3.4 : La roue-bille	38
Figure 3.5 : Le moteur EMG30	39
Figure 3.6 : Le support du moteur EMG30	39
Figure 3.7 : Bouton d'arrêt d'urgence	40
Figure 3.8 : Le support du bras manipulateur	40
Figure 3.9 : Schéma synoptique de la partie électronique	41
Figure 3.10 : Batterie 12V pour l'alimentation	42
Figure 3.11 : Principe de commutation	43
Figure 3.12 : Le L298 double pont H	44
Figure 3.13 : Schéma interne de la carte de puissance	44
Figure 3.14 : La carte d'alimentation avec le pont H	45
Figure 3.15 : Signal PWM	46
Figure 3.16 : La carte Arduino	47
Figure 3.17 : L'assemblage de la carte de puissance et la carte Arduino	47
Figure 3.18 : La structure finale du robot	48

Chapitre 4 : Tests et résultats expérimentaux

Figure 4.1 : Les étapes du travail	49
Figure 4.2 : Câble USB	50
Figure 4.3 : Le raccordement Arduino-récepteur	50
Figure 4.4 : Microswitchs	51
Figure 4.5 : Le déplacement du robot vers les balises	52
Figure 4.6 : L'organigramme d'orientation du robot	53
Figure 4.7 : La communication des matériels	54
Figure 4.8 : La table des essais	55
Figure 4.9 : Le servomoteur	55
Figure 4.10 : L'organigramme des Microswitchs	56
Figure 4.11 : L'organigramme d'orientation du robot	57

Figure 4.12 : La rotation du robot et l'avancement vers la balise détectée	58
Figure 4.13 : Les résultats obtenus des différentes expériences	59

introduction générale



Introduction générale

Depuis fort longtemps, l'homme rêve de créer des machines intelligentes capables d'effectuer des tâches à sa place. L'idée initiale de la réalisation des systèmes mobiles s'est développée dans le but de concevoir un système à caractéristiques humanoïdes, capable d'effectuer des corvées à la place de l'homme, à consacrer pour leur disponibilité, ou prendraient moins de temps et de risques pour effectuer des tâches dangereuses.

La robotique est un domaine pluridisciplinaire qui implique de nombreuses thématiques telles que la mécanique, la mécatronique, l'électronique, l'automatique, l'informatique ou l'intelligence artificielle. En fonction du domaine d'origine des auteurs. Un robot est une machine équipée de capacités de perception, de décision et d'action qui lui permettent d'agir de manière autonome dans son environnement en fonction de la perception désirée.

Les robots mobiles constituent aujourd'hui un formidable potentiel technologique, où on pourrait même parler d'une prochaine révolution électronique. Les robots sont remarquables dans des lieux inaccessibles pour l'homme, et dans tous les milieux : les zones confinées, les constructions élevées, les fonds sous-marins, les environnements dangereux ou les autres planètes. C'est ainsi qu'ont été développés tous les systèmes de localisation et de navigation dans un milieu donné. Ces systèmes mobiles, qui permettent souvent de manipuler des objets, sont munis de différents types de capteurs tels que les capteurs infrarouges (IR), ultra-sons (us), les capteurs tactiles et d'actionneurs, tous contrôlés par un processeur programmable.

La conception de notre système est réalisée en se contraignant au règlement de notre but, en s'intéressant à la navigation du robot mobile à l'aide d'un système des balises émettrices des signaux IR. Cela correspond à la conception mécanique et électronique et puis la partie software qui donne vie au robot. Ce dernier comporte des capteurs permettant de percevoir l'environnement. Enfin tous ces systèmes sont gérés et coordonnés par une partie commande à savoir un microcontrôleur de type Arduino Uno.

Notre mémoire est articulée sur quatre chapitres, et organisée comme suit :

. Le premier chapitre donnera un aperçu sur la robotique et les robots mobiles, il présente des aspects de perception et de contrôle des robots autonomes, en montrant des exemples de navigation possible.

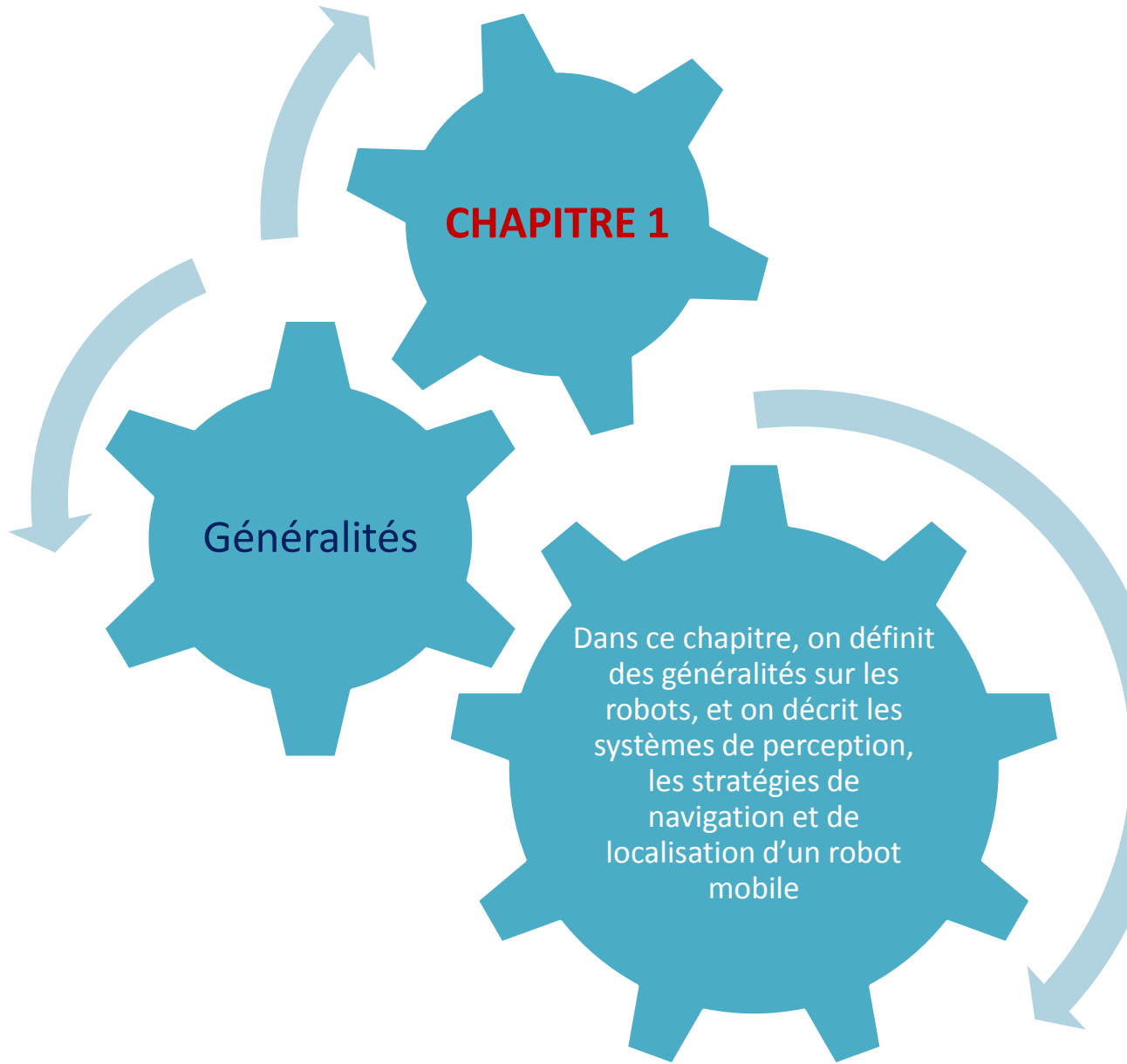
. Le deuxième chapitre exposera des principes de transmission des signaux infrarouges entre l'émetteur et le récepteur pour détecter les balises, on présentant par la suite la carte de commande Arduino Uno sur laquelle seront implémentés les programmes développés.

. Le troisième chapitre, abordera la partie réalisation du robot dont la partie mécanique, et détaillera le support de la partie électronique réalisée.

. Le quatrième chapitre, comportera des résultats théoriques et pratiques des essais effectués de cette réalisation.

Nous terminons par une conclusion générale récapitulant ce qui a été fait et exposant les perspectives de notre travail qui seraient susceptibles d'aboutir à de nouvelles améliorations.

Chapitre 1



1.1 Introduction

Les robots sont capables de réaliser des tâches de plus en plus complexes, car ces robots sont composés d'une structure matérielle et mécanique qui lui permet d'effectuer un déplacement. Ces tâches de haut niveau reposent sur des capacités de base que doit avoir un robot : *naviguer, se localiser et déplacer correctement dans un environnement*.

Nous présentons en premier lieu un historique sur la robotique, une définition de la notion du robot mobile, puis nous détaillons un peu les différents capteurs utilisés (avec et sans connaissance a priori de l'environnement).

1.1.1 Bref aperçu historique

Au 18^{ème} siècle, les automates miniatures sont devenus des jouets populaires chez les gens riches. Ces automates étaient à l'image des humains. En 1818, *Mary Shelly* a écrit *Frankenstein*, un récit qui expose la fabrication d'une créature d'apparence humaine. La création imaginée par cette auteure ressemblait à un homme, mais fonctionnait comme une machine. Il était composé d'éléments aux formes humaines maintenus ensemble à l'aide des boulons et des écrous. On remarquera qu'il y a même des pinces pour retenir ensemble les parties de sa tête. Selon *Shelly*, un robot devait être plus costaud que la moyenne d'entre nous et être doté d'une force surhumaine.

Le terme de robot apparaît pour la première fois dans une pièce de théâtre RUR de *Karel Čapek* en 1920 (*Rossum's Universal Robots*). Il vient du mot tchèque 'robot' (travail forcé), qui a décrit la révolte des robots, et présente une vision des robots comme serviteurs dociles et efficaces pour réaliser les tâches pénibles mais qui déjà vont se rebeller contre leurs créateurs [1].

En 1941, *Isaac Asimov*, invente le terme "Robotique", prédit l'augmentation de la robotique industrielle. Il recadre les robots en temps que machine servant l'homme et non-dangereuse.

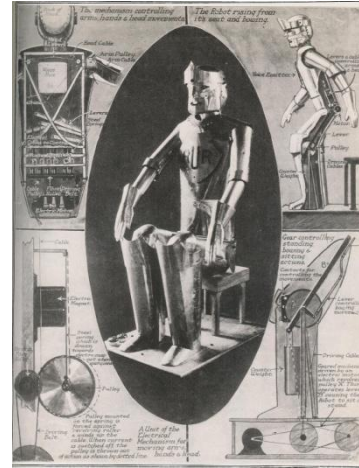
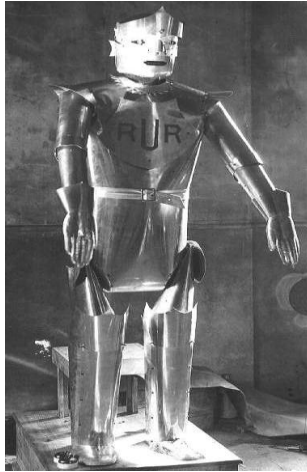


Figure 1.1 : Le robot RUR

Dans les années 1940 et 1950, l'avancement de l'électronique permet de miniaturiser les circuits électriques (inventions du transistor et du circuit intégré), ouvrant ainsi de nouvelles voies à la fabrication des robots.

En 1947, l'invention du premier opérateur électrique télé-opéré. Quelques années plus tard l'apparition du premier robot programmable dans une chaîne de montage de production dans une entreprise [1].

Dans les années 60, et avec l'apparition du transistor, les recherches en électronique vont conduire à des robots plus complexes mais qui vont réaliser des tâches similaires. Ainsi le robot "Beast", qui est capable de se déplacer au centre des couloirs en utilisant des capteurs ultrason, de chercher des prises électriques noires sur des murs blancs en utilisant des photodiodes et de s'y recharger [2].

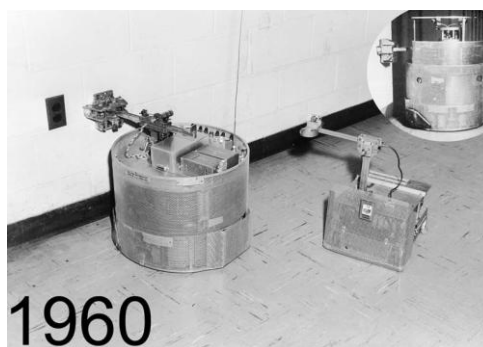


Figure 1.2 : Robot "Beast" de l'université John Hopkins dans les années 1960

Dans les premiers temps de la robotique, le robot est considéré comme une imitation de l'homme, aussi bien fonctionnelle que physique. Aujourd'hui, les constructeurs ne

tendent plus de reproduire l'aspect humain sur un robot, privilégiant avant tout sa fonctionnalité.

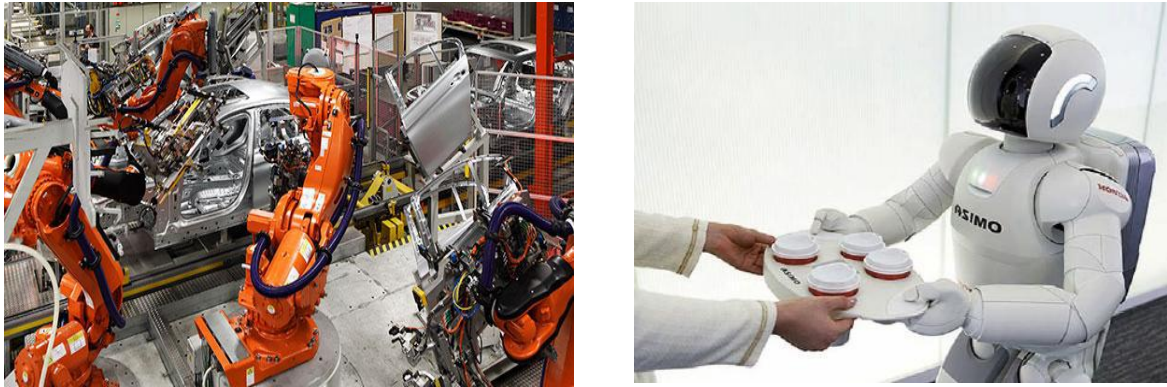


Figure 1.3 : L'utilisation des robots dans les derniers temps

1.1.2 Définition d'un robot mobile

Avec la variété de robots développés aujourd'hui, il est difficile de définir ce terme très spécifiquement. Une définition très générale est appropriée :

- Robot : système autonome programmé pour exécuter une ou plusieurs tâches.
- Robotique : en terme générale c'est l'étude et l'utilisation des systèmes robotisés.

Pour commencer, il nous faut expliciter la notion de robot. En robotique, on distingue les robots en deux principaux types : les robots manipulateurs et les robots mobiles. Tels que les robots manipulateurs ont une base fixe contrairement aux robots mobiles qui peuvent se déplacer. Ainsi pour étudier les déplacements de ces robots, nous pouvons soit utiliser un repère absolu, soit un repère fixé sur le robot.

Un robot mobile est un système mécanique, électronique et informatique agissant physiquement sur son environnement en vue d'atteindre un objectif qui lui a été assigné.

Cette machine est polyvalente et capable de s'adapter à certaines variations de ses conditions de fonctionnement. Elle est dotée de fonctions de capacités de perception, de décision et d'action qui lui permettent d'agir de manière autonome dans son environnement en fonction de la perception qu'il en a. Ainsi, le robot devrait être capable d'effectuer des tâches diverses, de plusieurs manières, et accomplir correctement sa tâche, même s'il rencontre de nouvelles situations inattendues.

La complexité des tâches réalisables par un véhicule (robot mobile) dépend des performances de son système de localisation (précision, fiabilité, robustesse, temps de réponse...) et de la mobilité que lui donne son système de déplacement. Un robot mobile

est donc généralement conçu pour effectuer un certain nombre de tâches que l'on peut classer en fonction du type d'environnement dans lequel évolue le véhicule (milieu structuré ou semi structuré, environnement naturel ...), et du degré de connaissance de cet environnement, de son caractère évolutif (obstacles fixes ou mobiles) ou encore du domaine d'application pour lequel le véhicule a été conçu.

Un robot est dit autonome :

- S'il est capable de choisir ses actions pour atteindre son but.
- S'il est capable d'accomplir correctement sa tâche même s'il rencontre de nouvelles situations inattendues sans intervention humaine.

La robotique est devenue dans nos jours un champ de recherche très varié. On va présenter les différents types de robots, leur fonctionnement, et le domaine d'utilisation de la robotique. Puis nous présenterons le problème de la navigation dans la robotique mobile. On définira les différentes stratégies de navigation, de localisation et on donnera les catégories des contrôleurs existants.

1.2 Les différents types de robots mobiles

On peut classer les robots en quatre catégories, par ordre de complexité croissante. Les robots les plus simples et les plus courants sont capables de répéter les opérations inscrites dans leurs programmes.

1.2.1 Les robots mobiles marcheurs

De nombreuses recherches en robotique tentent aujourd'hui de reproduire des mécanismes développés et complexes de la marche humaine ou animale. Même sur un terrain assez régulier, les opérations sont difficiles à exécuter par un robot bipède, quadrupède ou même hexapode [3].

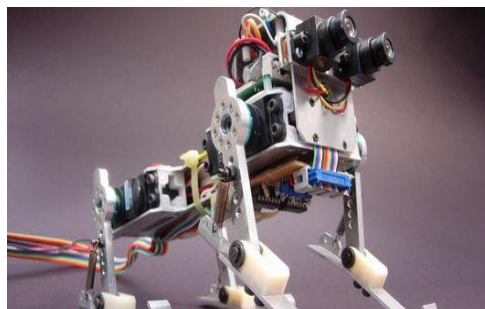


Figure 1.4 : Exemple d'un robot marcheur

1.2.2 Les robots mobiles rampants

Ils sont utilisés dans des environnements de type tunnel ou des endroits restreints. Les techniques utilisées ressemblent à des méthodes de locomotion des animaux rampants (comme les serpents).



Figure 1.5 : Exemple d'un robot rampant

1.2.3 Les robots mobiles à chenilles

L'utilisation des chenilles présente l'avantage d'une bonne adhérence au sol et d'une facilité de franchissement des obstacles. Ces robots peuvent être utilisés en milieu urbain, ou dans des décombres [3]. Ils sont capables de se déplacer facilement dans une ligne droite, mais avec une difficulté pour assurer des rotations avec précision. L'utilisation des chenilles conduit cependant à un odomètre très bruité à cause du contact mal défini entre les chenilles et le sol.



Figure 1.6 : Exemple d'un robot à chenilles

1.2.4 Les robots mobiles à roues

La mobilité par roues est la structure mécanique la plus souvent ou généralement appliquée et étudiée, parce qu'elle est plus simple à réaliser que les autres types de robots mobiles. Ces robots sont très souvent utilisés pour l'étude des systèmes autonomes. Dans le cas de robots utilisant des roues pour se déplacer, chaque roue est

motorisée séparément, et le changement de direction est obtenu soit en faisant varier la vitesse des moteurs associés à chacune des roues latérales, soit en inversant le sens de rotation, soit en variant l'orientation des roues. Ce type de robot peut tourner d'une manière continue.



Figure 1.7 : Exemple d'un robot mobile à des roues

1.3 Domaines d'utilisation des robots mobiles

Aujourd'hui, le marché commercial de la robotique mobile est toujours relativement restreint, mais il existe de nombreuses perspectives de développement qui feront probablement un domaine important dans le futur. Les applications des robots peuvent se trouver dans de nombreuses activités "ennuyeuses, salissantes ou dangereuses" ("3 D's" en anglais pour : Dull, Dirty, Dangerous), mais également pour des applications ludiques ou de service, comme l'assistance aux personnes âgées ou handicapées. Parmi les domaines concernés, nous citons :

- La robotique de service (hôpitaux, bureaux).
- La robotique de loisir (robot 'compagnon').
- La robotique industrielle ou agricole (entrepôts, récolte des productions agricoles, mines).
- La robotique en environnement dangereux (spatial, militaire).

A cela, s'ajoute à l'heure actuelle de nombreuses plateformes conçues essentiellement pour les laboratoires de recherche [2].

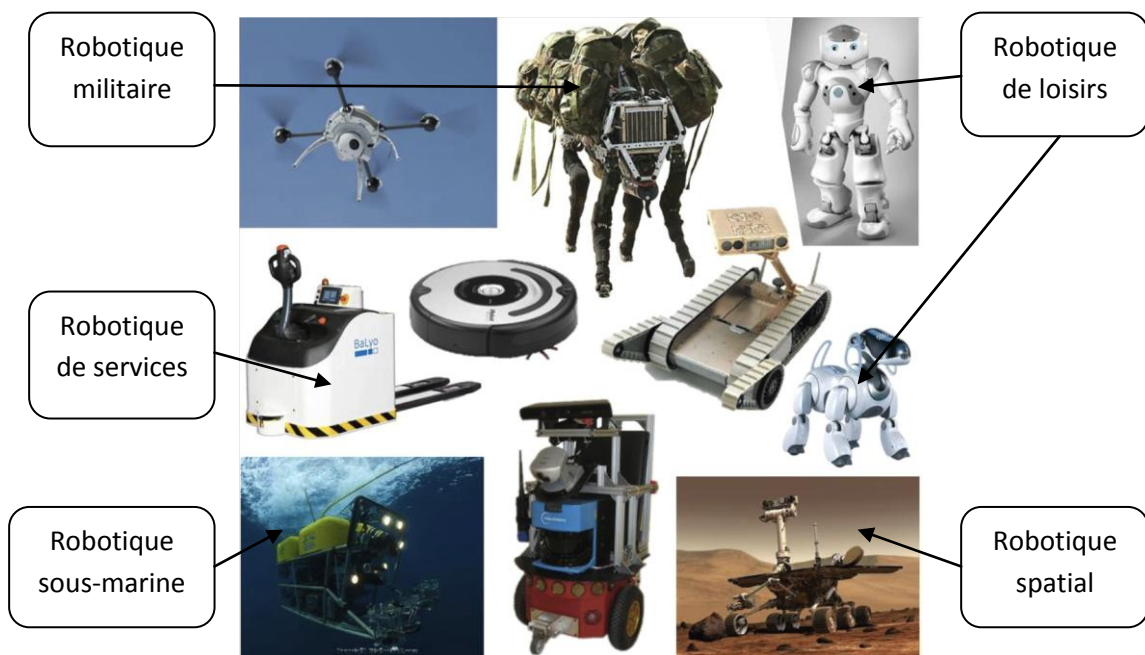


Figure 1.8 : quelques exemples des robots et leurs domaine d'apllication

1.4 Le fonctionnement des robots mobiles

Il existe deux principaux modes de fonctionnement pour un robot mobile : télé-opéré et autonome.

En mode télé-opéré, une personne pilote le robot à distance. Elle donne ses ordres via une interface de commande (joystick, clavier/souris ...), et ceux-ci sont envoyés au robot via un lien de communication (internet, satellite ...). D'ailleurs, suivant le niveau de télé-opération, le terme robotique est plus ou moins justifié. Le robot doit donc obéir aux ordres de l'opérateur qui perçoit l'environnement autour du robot, par différents moyens (retour d'image ...), de manière à donner des ordres adaptés au robot. Dans ce domaine, les efforts de recherche sont beaucoup portés sur les problèmes liés au réseau de télécommunication (retards dans le réseau de communication, problèmes de commande, pertes de données), et sur l'amélioration de la perception de l'environnement par l'opérateur (interfaces haptiques, retours d'efforts).

A l'inverse, en mode autonome le robot doit prendre ses propres décisions. Cela signifie qu'il doit être capable à la fois de percevoir correctement son environnement, mais également de savoir comment réagir en conséquence, suivant le niveau d'autonomie.

C'est à lui de planifier son parcours et de déterminer avec quels mouvements il va atteindre son objectif. Les recherches dans ce domaine portent principalement d'une part sur la localisation du véhicule autonome et la cartographie de son environnement, d'autre part sur le contrôle de tels véhicules (structure de contrôle, stratégies de commande, planification).

Cette notion d'autonomie prise en exemple, que nous pourrions qualifier de décisionnelle, ne doit pas être confondue avec celle d'autonomie énergétique (capacité du robot à gérer efficacement son énergie, à la préserver, voire à se ravitailler), même si ces deux notions sont étroitement liées : idéalement une des préoccupations principales d'un robot mobile totalement autonome (du point de vue décisionnel), serait en effet de pouvoir gérer de lui-même ses réserves d'énergie.

1.5 Les systèmes de perception

La fonction perception consiste globalement à saisir un certain nombre d'informations dans le but d'acquérir une connaissance et une compréhension du milieu d'évolution.

Les capteurs constituent les éléments fondamentaux du système de localisation. Ils sont les responsables d'informer le robot sur le milieu extérieur et l'informer sur ses propres actions en vérifiant l'état de ses actionneurs. Ils sont donc l'élément indispensable à un robot autonome pour savoir ce qu'il fait et prendre les bonnes décisions. On peut les classer en fonction du type de localisation associé.

Il existe deux catégories de capteurs couramment utilisées en robotique mobile ; *les capteurs proprioceptifs* et *les capteurs extéroceptifs* [4].

- Les capteurs proprioceptifs qui fournissent des informations propres au comportement interne du robot, c'est-à-dire sur son état à un instant donné.
- Les capteurs extéroceptifs qui fournissent des informations sur le monde extérieur au robot.

1.5.1 Les capteurs proprioceptifs

Les capteurs proprioceptifs sont des capteurs placés et installés à bord des robots mobiles et qui fournissent des informations élémentaires sur les paramètres cinématiques de ces robots. Les informations sensorielles gérées dans ce cadre sont

généralement des vitesses, des accélérations, des angles de giration, des angles d'attitude, des angles de rotation, l'état de la batterie.

On peut regrouper les capteurs proprioceptifs en deux familles :

- Les capteurs de déplacement qui comprennent : les odomètres, les accéléromètres, les radars Doppler, les mesureurs optiques. Cette catégorie permet de mesurer des déplacements élémentaires, des variations de vitesse ou d'accélération sur des trajectoires.
- Les capteurs d'attitude, qui mesurent deux types de données : les angles de cap et les angles de roulis et de tangage. Ils sont principalement constitués par les gyroscopes et les gyromètres, les capteurs inertiels composites, les inclinomètres, les magnétomètres. Ces capteurs sont en majorité de type inertiels [4].

1.5.1.1 Les capteurs de déplacement

a. les odomètres

Les odomètres sont des capteurs qui permettent d'estimer le déplacement du robot à partir de la mesure de la vitesse et la position angulaire de l'axe des roues (mesurant la rotation de ses roues ou le déplacement des pattes). Le calcul de la position relative du robot est réalisé par intégration des rotations élémentaires des roues, à l'aide d'un codeur optique disposé sur l'axe de ces roues, ou sur le système de transmission (par exemple sur la sortie de la boîte de vitesse pour une voiture).

Les encodeurs optiques sont les plus utilisés pour effectuer la mesure de la rotation. Cet encodeur est disposé sur l'axe de la roue ou sur le moteur.

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.



Figure 1.9.a : Odomètre

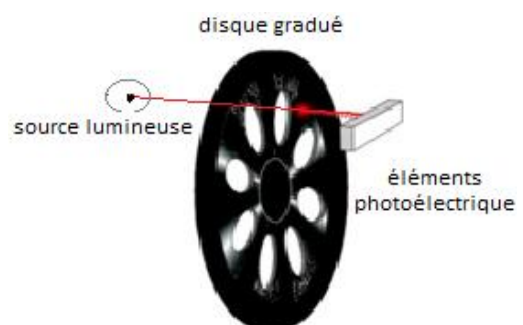


Figure 1.9.b : Principe d'un encodeur optique

b. Les accéléromètres

L'accéléromètre est un capteur qui mesure l'accélération linéaire en un point donné. En pratique, la mesure de l'accélération s'effectue à l'aide d'une masse d'épreuve M , de masse m , reliée à un boîtier du capteur. Le principe de ce capteur est de mesurer l'effort massique non gravitationnel qu'on doit appliquer à M pour le maintenir en place dans le boîtier lorsqu'une accélération est appliquée au boîtier.

Le calcul du déplacement élémentaire du système mobile est obtenu par double intégration de ces informations. Cette double intégration conduit généralement à des accumulations importantes d'erreurs. Ces capteurs sont plus coûteux que les odomètres [4].

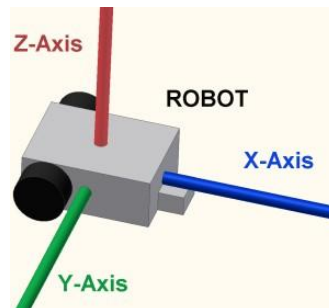


Figure 1.10 : Robot mobile à un point donné

1.5.1.2 Les capteurs d'attitude

a. Le gyroscope, gyromètre et gyrocompas

Les gyroscopes sont des capteurs permettent de mesurer une variation angulaire par rapport à un référentiel. Ils sont intéressants en robotique mobile parce qu'ils peuvent compenser les défauts des odomètres.

Nous pouvons classer les gyroscopes en trois catégories :

- Gyroscopes rotationnels (classiques).
- Gyroscopes à structure vibratoire.
- Gyroscopes optiques.

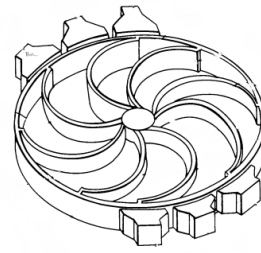
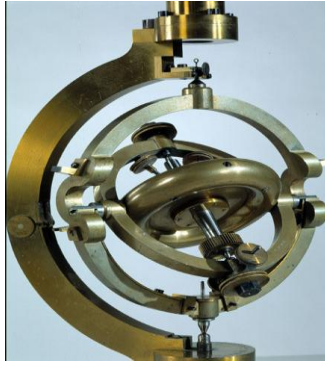


Figure 1.11.a : Gyroscope mécanique de Foucault **Figure 1.11.b :** Gyroscope à structure vibratoire

b. Le magnétomètre ou compas magnétique

Le magnétomètre qui est aussi appelé compas magnétique mesure la direction du champ magnétique terrestre pour déduire l'orientation du robot.

Ils ont l'avantage de consommer peu d'énergie, de n'avoir aucune pièce mobile, d'être résistante aux chocs et aux vibrations et d'être peu coûteuse et de taille petite.



Figure 1.12 : Magnétomètres

1.5.2 Les capteurs extéroceptifs

Les capteurs extéroceptifs permettent au robot de percevoir le milieu d'évolution et de mesurer des paramètres extérieurs à partir de l'environnement dans le quel il évolue. Ils sont généralement le complément indispensable aux capteurs présentés précédemment.

Ces capteurs sont nécessaires dans les domaines d'application tels que l'évitement d'obstacle, la modélisation d'environnement, la localisation et la navigation.

Deux familles de capteurs extéroceptifs embarqués peuvent être identifiées : les capteurs télémétriques et les systèmes de vision. On définit :

1.5.2.1 Les capteurs télémétriques

a. Les capteurs à ultrasons

Les capteurs à ultrasons utilisent l'air comme milieu de propagation. Ils sont plus utilisés dans la robotique mobile autonome.



Figure 1.13 : Capteur ultrason

La méthode de mesure de ces capteurs consiste à transmettre un paquet d'ondes ultrasoniques pour ensuite mesurer le temps que met cette onde à revenir au capteur après avoir été réfléchi par un objet ou obstacle. On peut obtenir et calculer la distance d'un objet par rapport au capteur en considérant les constantes de chaleur et de gaz et connaissant la vitesse de propagation du son et le temps de vol pour un aller-retour d'une onde dans un milieu donné.

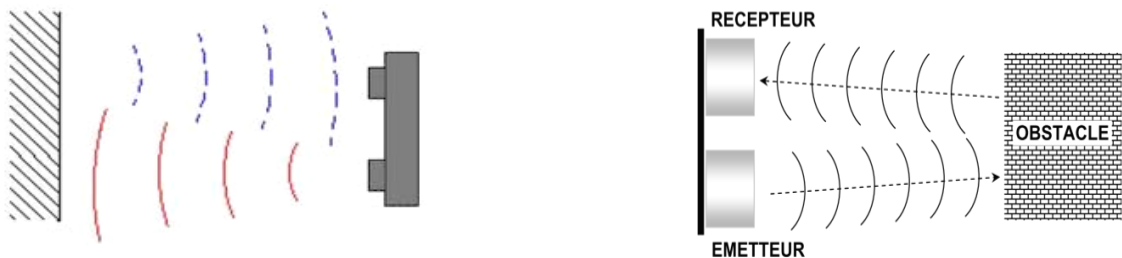


Figure 1.14 : Principe de fonctionnement du capteur ultrason

b. Les capteurs laser

Le capteur laser est basé sur l'émission d'une onde électromagnétique structurée. Ce capteur permet donc d'obtenir un faisceau d'ondes très concentré, contrairement aux capteurs ultrasons. Les systèmes laser possèdent de nombreux avantages qui en font des capteurs souvent utilisés dans les applications de robotique mobile pour l'obtention des mesures précises de distance [4].

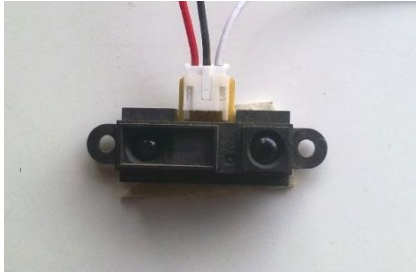


Figure 1.15.a : Capteur infrarouge



Figure 1.15.b : Principe du capteur infrarouge

1.5.2.2 Les systèmes de vision

Les systèmes de vision en robotique sont basés sur l'utilisation des caméras CCD. Ces systèmes de vision sont très performants en précision et fournissent une grande quantité d'information exploitable. Ils sont de plus capables de restituer une image sensorielle de l'environnement la plus proche de celle perçue par l'être humain [4].



Figure 1.16 : Capteur CCD

1.6 Navigation

1.6.1 Définition de la navigation

Le concept de navigation vient directement du contexte marin, comme cela est indiqué dans la définition du mot :

- Action de naviguer (Voyager sur mer, sur l'eau). Navigation maritime, sous-marine. Navigation côtière, au long cours.
- Art et technique de la conduite des navires ; détermination de la position et tracé de la route.

A ses jours le mot navigation s'applique dans plusieurs autres contextes, par exemple navigation d'avions ou avions, la navigation routière, et plus récemment la navigation sur le WEB [5].

D'après *Levitt* et *Lawton* (1990), la navigation est définie comme le procédé permettant de répondre aux trois questions suivantes :

(i) "Où suis-je ?".

(ii) "Où sont les autres lieux par rapport à moi ?".

(iii) "Comment puis-je atteindre ces autres lieux depuis l'endroit où je me trouve ?".

Donc, la navigation est la science et l'ensemble des techniques qui permettent de :

- connaître la position (coordonnées) d'un mobile par rapport à un système de référence, ou par rapport à un point fixe déterminé.
- calculer ou mesurer la route à suivre pour rejoindre un autre point de coordonnées connues en respectant un certain nombre de contraintes et de critères qui découlent de plusieurs facteurs, qui dépendent généralement des caractéristiques du robot, de l'environnement, et du type de tâche à exécuter.
- calculer toute autre information relative au déplacement de ce mobile (distance et durée, vitesse de déplacement, heure estimée d'arrivée, ...etc.).

Afin de réaliser une navigation dans n'importe quel contexte, nous avons besoin d'amers, un mot qui de manière similaire au mot navigation, est lié à la même culture, celle des marins emmenés à voyager sur l'eau.

1.6.2 Les stratégies de navigation

Les stratégies de navigation permettent à un robot mobile de se déplacer pour rejoindre un but sont extrêmement diverses, de même que les classifications qui peuvent en être faites. Nous reprenons ici une classification établie par *Trullier* et *Meyer*, qui présente l'avantage de distinguer les stratégies sans modèles internes et les stratégies avec modèle interne [6].

Cette classification comporte cinq catégories, de la plus simple à la plus complexe : Approche d'un objet, Guidage, Action associée à un lieu, Navigation topologique et la Navigation métrique [7].

Les modèles des trois premières catégories utilisent des actions réflexes pour guider le robot et se différencient essentiellement par le type de perceptions utilisées pour déclencher ces actions. Ils se regroupent sous le terme ***générique de navigation réactive***.

Ils peuvent être très simple, ne nécessitent pas de modèle global de l'environnement mais ont un domaine d'application souvent restreint. Dans le monde vivant, ces stratégies sont très répandues, notamment chez les insectes. Les comportements de ce type restent toutefois essentiels dans les robots modernes car, du fait de leur simplicité, ils sont généralement exécutés très rapidement et ils permettent de réaliser des tâches de bas niveau, comme l'évitement des obstacles imprévus, essentielles à la sécurité d'un robot.

Les modèles des deux dernières catégories autorisent pour leur part une navigation globale et permettent de rejoindre un but arbitraire au sein de l'environnement. Ils s'appuient pour cela sur un modèle interne du monde (une carte), qui supporte une planification. Ce modèle interne mémorise donc la structure spatiale de l'environnement, indépendamment d'un but précis. Chacune des positions mémorisées dans ce modèle interne peut alors être utilisée comme but par le processus de planification dont le rôle est de calculer une route vers ce but. Ce sont les deux stratégies qui sont regroupées sous le terme de **navigation par carte**.

Une telle représentation interne est naturelle pour les êtres humains, pour lesquels des processus cognitifs de haut niveau sont utilisés pour créer et utiliser une carte. Ces processus de haut niveau sont toutefois très difficiles à copier pour un robot réel qui ne dispose que de systèmes rudimentaires de perception et de traitement des informations en comparaison avec un homme. Par exemple, en environnement urbain, le processus de mise en correspondance de la carte avec l'environnement réel afin de déterminer sa position fait souvent appel, pour l'homme, à la lecture du nom des rues inscrit sur les bâtiments, ce qui est relativement difficile à automatiser, à cause de la diversité des configurations dans lesquelles peuvent se trouver ces noms.

On notera au passage que l'homme a quasiment toujours recours à des aménagements particuliers de l'environnement pour connaître sa position, par exemple celui qui consiste à nommer les rues ou à lancer des satellites dans l'espace pour bénéficier du GPS [3].

Après cette explication, nous commençons à détailler de plus ces différents types de stratégies de navigation.

1.6.2.1 La navigation par carte

Elle s'appuie sur un modèle interne du monde, une carte, qui supporte une planification. Ce modèle interne mémorise la structure spatiale de l'environnement,

indépendamment d'un but précis. Chacune des positions mémorisées dans ce modèle interne peut alors être utilisée comme but par le processus de planification dont le rôle est de calculer une route vers ce but. Le principe de la navigation par carte est basé sur la cartographie, la localisation et la planification. On peut citer deux sous classe :

a. Navigation par carte topologique : Une carte topologique est un graphe, dans lequel chaque nœud correspond à un endroit caractéristique (carrefour entre couloirs, entrées dans les espaces ouverts ...), appelé *meeting point* dans plusieurs travaux, ou encore lieu. Chaque lieu devra être décrit par un ensemble de caractéristiques propres, qui permettront au robot de le reconnaître. Une arête liant deux nœuds signifie qu'il existe une commande référencée capteur que le robot peut exécuter afin de se déplacer entre les deux lieux correspondants. Cette représentation est particulièrement adaptée pour décrire des réseaux de couloirs : les lieux correspondent aux carrefours, les arêtes aux couloirs qui les lient.

Pour la génération d'une trajectoire entre deux lieux définis dans une carte topologique, il suffit de rechercher un chemin dans le graphe. Dans cette stratégie, le robot n'a pas besoin de connaître sa position précise par rapport à un repère du monde. Il doit seulement déterminer une localisation qualitative « *Je suis dans le lieu A* » et, au mieux, une estimation de sa position relative par rapport à un repère lié au lieu dans lequel il se trouve.

b. Navigation par carte métrique : La navigation métrique exploite une représentation géométrique du monde, qui peut être donné par un utilisateur, ou construite par le robot lui-même. Elle représente une extension de la précédente car elle permet au robot de planifier des chemins au sein de zones inexplorées de son environnement. Elle mémorise pour cela les positions métriques relatives des différents lieux, en plus de la possibilité de passer de l'un à l'autre. Ces positions relatives permettent, par simple composition de vecteurs, de calculer une trajectoire allant d'un lieu à un autre, même si la possibilité de ce déplacement n'a pas été mémorisée sous forme d'un lien.

1.6.2.2 La navigation réactive

Les algorithmes de modélisation de l'environnement sont très coûteux en temps de calcul. Le robot en plus a souvent qu'une vue très partielle de son environnement. Ceci implique que le robot peut remettre en cause son plan, en raison de présence imprévue

d'obstacles par exemple, entraînant une nouvelle modélisation coûteuse de l'environnement et une régénération de chemin. De plus, le délai entre l'apparition d'un nouvel obstacle, sa prise en compte dans le modèle et la régénération d'un nouveau plan pouvant être important, il existe un risque de collision pour le robot si une réponse immédiate est nécessaire. Pour cela les roboticiens ont cherché à remplacer ou compléter la navigation à base de carte par des processus rapide qui se regroupent sous le terme de navigation réactive. La navigation réactive utilise des actions réflexes pour guider le robot et se différencie essentiellement par le type de perceptions utilisées pour déclencher ces actions. Les comportements de ce type restent essentiels dans les robots modernes car, du fait de leur simplicité, ils sont généralement exécutés très rapidement et ils permettent de réaliser des tâches de bas niveau, comme l'évitement des obstacles imprévus, essentielles à la sécurité d'un robot. On peut citer trois sous classe :

a. Navigation par approche d'un objet : Cette capacité de base permet de se diriger vers un objet visible depuis la position courante du robot. Elle est en général réalisée par une remontée sur la perception de l'objet, comme dans l'exemple célèbre des véhicules de *Valentino Braitenberg* qui utilisent deux capteurs de lumière pour atteindre ou fuir une source lumineuse. Cette stratégie utilise des actions réflexes, dans lesquelles chaque perception est directement associée à une action. C'est une stratégie locale, c'est-à-dire fonctionnelle uniquement dans la zone de l'environnement pour laquelle le but est visible.

b. Navigation par Guidage : Cette capacité permet d'atteindre un but qui n'est pas un objet matériel directement visible, mais un point de l'espace caractérisé par la configuration spatiale d'un ensemble d'objets remarquables, qui l'entourent ou qui en sont voisins.

La stratégie de navigation, consiste alors à se diriger dans la direction qui permet de reproduire cette configuration. Le robot tente donc de mémoriser une photo de l'ensemble de ses perceptions lorsqu'il se trouve dans une situation but et cherche à faire correspondre ses perceptions courantes avec la situation mémorisée. Cette stratégie de navigation requiert néanmoins la perception directe des amers caractéristiques de la situation but et dès lors qu'ils ne sont plus perçus, la stratégie échoue et ne peut donc être utilisée que dans un contexte local. Cette capacité semble utilisée par certains insectes, comme les abeilles, et a été utilisée sur divers robots. Cette stratégie utilise

également des actions réflexes et réalise une navigation locale qui requiert que les amers caractérisant le but soient visibles. Enfin il est à noter que ce type de navigation ne requiert aucune modélisation spatiale. En effet, la mise en correspondance d'une mémoire perceptive avec les perceptions courantes ne requiert en aucun cas un traitement spatial spécifique.

c. Navigation par association : Cette capacité est la première capacité réalisant une navigation globale, c'est-à-dire qui permette de rejoindre un but depuis des positions pour lesquelles ce but ou les amers qui caractérisent son emplacement sont invisibles. Elle s'applique généralement à des environnements plus conséquents et repose sur la notion de lieu et requiert une représentation interne de l'environnement qui consiste à définir des lieux comme des zones de l'espace dans lesquelles les perceptions restent similaires, et à associer une action à effectuer à chacun de ces lieux. L'enchaînement des actions associées à chacun des lieux reconnus définit une route qui permet de rejoindre le but. Cependant, ce type de navigation, s'il est plus robuste que la navigation par guidage, ne permet pas encore l'établissement de réelle stratégie dans la mesure où les informations mémorisées dépendent directement du but que l'on souhaite rallier. Si le robot souhaite rallier un autre but, il doit posséder une mémorisation différente de l'environnement orientée vers ce nouveau but. Il n'existe pas encore de véritable représentation interne de l'environnement à ce niveau de navigation dans la mesure où les différents lieux mémorisés ne possèdent pas de relations internes. Etant donné un lieu A, un robot connaît la direction immédiate à prendre, mais il est incapable de prédire la prochaine direction avant de se trouver effectivement dans le nouveau lieu. Ces modèles permettent donc une autonomie plus importante mais sont limités à un but fixé. Une route qui permet de rejoindre un but ne pourra en effet pas être utilisée pour rejoindre un but différent. Changer de but entraînera l'apprentissage d'une nouvelle route, indépendante des routes permettant de rejoindre les autres buts.

Après que nous détaillons ces stratégies de navigation, on conclue que le système de navigation idéal pour un robot mobile sera probablement celui qui sera capable de tirer parti de toutes ces informations, ce qui ne lui était pas destinées à l'origine.

1.6.3 Les différents types d'environnements en navigation

1.6.3.1 Navigation dans un environnement connu

La connaissance de l'environnement évite sa perception, donc il reste à construire un modèle de celui-ci dans le système du robot pour définir par la suite la trajectoire optimale, de telle méthode de planification de trajectoire est appelée méthode globale.

1.6.3.2 Navigation dans un environnement partiellement connu

Dans un environnement on peut distinguer deux types d'obstacles, les obstacles fixes, et les obstacles mobiles, ces types d'obstacles varient selon l'environnement dans lequel le robot doit progresser. D'où le risque de collision est élevé pour éviter cela le robot doit avoir un champ de vision considérable afin d'éviter ces obstacles. Par conséquent ce type d'espace de travail est considéré comme partiellement connu par le robot.

1.6.3.3 Navigation dans un environnement inconnu

Dans ce type de navigation le robot se déplace tout en découvrant son environnement grâce au système de perception monté sur le robot (capteurs de proximité, capteurs ultrasonores, laser,...), d'où on distingue deux types d'approche qui peuvent se présenter suivant la tâche confiée au robot :

a. Navigation avec mémorisation de l'environnement

Dans ce type de navigation le robot peut agir suivant l'une des deux approches suivantes :

- Le robot se déplace dans son environnement pour la reconnaissance et la mémorisation de ce dernier avant le lancement de sa mission.

Où bien:

- Lors de l'exécution de plusieurs tâches le robot mémorise au fur et à mesure son espace de travail afin de le reconnaître.

b. Navigation sans mémorisation de l'environnement

Généralement dans ce type de navigation le robot est dédié à faire une seule mission, car toutes les missions auront la même façon de procéder, la planification du chemin est faite à l'aide des capteurs qui renseignent le robot de la présence au l'absence d'un obstacle qui sera détourné localement au fur et à mesure de son déplacement [8].

1.7 Localisation en robotique mobile

1.7.1 Définition de la localisation

Quelque soit le domaine d'application pour lequel il est destiné, un robot mobile, pour être utilisable, doit comporter un système permettant un certain niveau d'autonomie dans la localisation et la navigation. Pour schématiser, il doit être capable de répondre à trois types de questions : « où suis-je ? », « où vais-je ? » et « comment y aller ? ». La première question soulève le problème de la localisation. Les deux autres sont liées à la planification de trajectoire et à la navigation proprement dite. La bonne exécution des deux dernières tâches est fortement liée à la première [8].

La localisation consiste à définir la position en termes de coordonnées d'un point du mobile par rapport à un référentiel de base.

Le système de localisation est l'ensemble constitué par les capteurs et les logiciels de traitement de données utilisé par le véhicule pour estimer de manière autonome son déplacement ou sa situation dans l'espace.

1.7.2 Les méthodes de localisation

Les outils permettant la localisation classés en deux catégories : ceux par localisation à l'estime (relative) ; qui permet au véhicule de naviguer à l'estime (dead reckoning) en utilisant uniquement les mesures de ses mouvements propres délivrées par les capteurs proprioceptifs, et ceux par localisation absolue ; qui fait appel aux mesures des capteurs extéroceptifs pour estimer la situation du véhicule dans un repère lié à l'environnement.

Le principe de la première catégorie consiste à intégrer des informations sur les vitesses ou les accélérations fournies par des capteurs proprioceptifs (odomètres) [9]. L'avantage de cette méthode est qu'elle est indépendante de l'environnement. Mais leur inconvénient est le manque de précision dû à la mesure du temps.

Le second type de méthode pour la localisation est la localisation absolue, cette méthode utilise des éléments repérables par le robot dans l'environnement de navigation, de position connue, pour permettre au robot de se repérer relativement à ceux-ci. Ces éléments sont appelés des balises ou amers et sont dits soit réels s'ils ont été placés spécialement pour permettre la localisation, soit virtuels s'il s'agit d'éléments présents naturellement [3].

Les balises réelles sont dites passives si elles ont pour but de réfléchir un signal émis par un appareil de mesure du robot (laser ou infrarouge). Il existe deux méthodes pour utiliser ces balises pour la localisation du robot : la méthode télémétrique (calcul de la distance robot/balise) ; qui nécessite la présence de deux balises pour calculer la position du robot dans le plan, et la méthode par triangulation ; qui consiste à mesurer les angles entre chaque balise et le robot, et qui nécessite l'utilisation de 3 balises.

Les balises réelles sont dites actives si elles émettent un signal captable par le robot. En milieu extérieur, le système GPS (global positioning system) peut être utilisé pour obtenir des positions d'une précision de l'ordre du mètre. A la base développée par l'armée américaine dans les années 80 (lancement du premier satellite GPS en 1978), il fut ouvert aux civils en 1995. Jusqu'en 2000 les mesures étaient volontairement entachées d'une erreur d'une centaine de mètres, l'armée américaine craignant que ce système soit un avantage pour leurs ennemis. Malgré le retrait de cette erreur volontaire, la précision du système restait de l'ordre du mètre, à cause des incertitudes sur l'orbite et l'horloge des satellites, ainsi que les retards engendrés par la traversée des couches atmosphériques [9].

Les chercheurs se sont rendu compte de l'intérêt à utiliser conjointement la localisation à l'estime et la localisation absolue. On parle alors de recalage dynamique qui est la correction régulière de l'estimation relative de position qui s'effectue par un système de localisation absolue. Mais les méthodes hybrides intègrent aussi celles qui s'appuient sur la coopération de plusieurs capteurs proprioceptifs ou extéroceptifs.

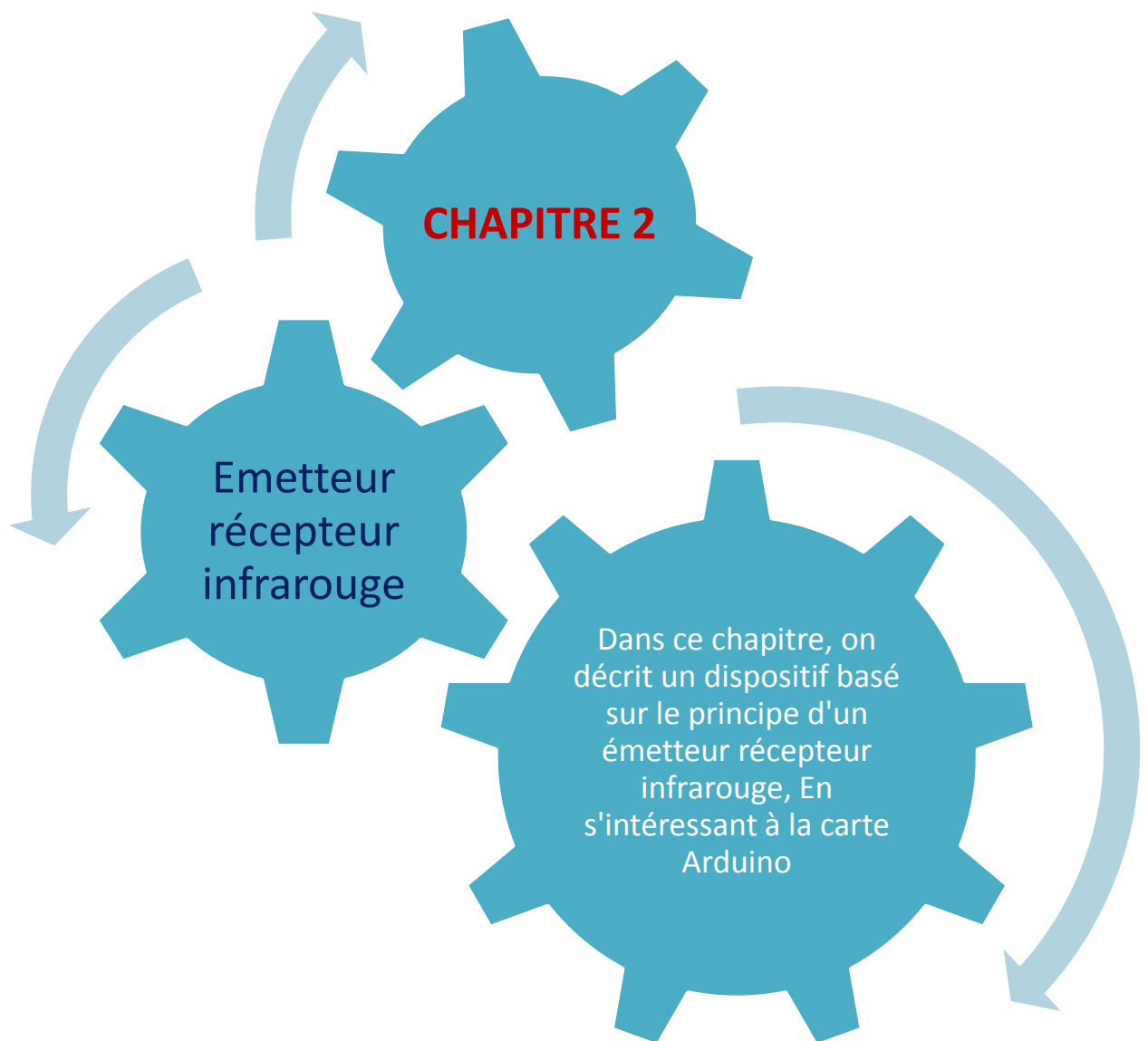
1.8 Conclusion

Ce chapitre nous a permis d'évoquer quelques généralités sur les robots mobiles. Il présente un tour d'horizon des principaux capteurs et des techniques développés pour permettre à un robot mobile terrestre d'estimer ses déplacements et de se localiser de manière autonome dans son environnement.

Parmi les problématiques liées à la commande, celle de la navigation qui tient un rôle important, elle consiste à déterminer les trajectoires que le robot sera capable de suivre pour lui permettre d'évoluer correctement au milieu d'obstacles.

Chapitre 2





2.1 Introduction

Ce chapitre décrit le fonctionnement des dispositifs infrarouges utilisés dans notre système pour détecter la position des balises. Nous nous intéressons ensuite à la carte de commande Arduino Uno.

2.2 Les systèmes de réception infrarouges

2.2.1 Historiquement

La première émission de lumière par un semi-conducteur était en 1907 et fut découverte par *J. Round*. Quelques années après, en 1927, *O. V. Losev* dépose le premier brevet de ce qui sera appelé, bien plus tard, une diode électroluminescente. Ce n'est qu'en 1962 que la première DEL rouge est créée par *Nick Holonyak Jr* et *S. Bevacqua*.

Après 1975, le rayonnement infrarouge a remplacé progressivement les ultrasons jusque-là utilisés par les télécommandes. L'utilisateur y gagne en portée et en sûreté de transmission, le fabricant, en prix de revient. La vitesse de propagation élevée du rayonnement infrarouge exclut les perturbations par interférences, réflexion et effet Doppler. Les bruits de distorsion n'ont pas ici l'influence néfaste qui perturbait les vieux appareils à ultrasons [10].

2.2.2 Définitions

2.2.2.1 Définition de la LED

Une diode électroluminescente DEL, (en anglais : *Light-Emitting Diode*, LED), est un composant optoélectronique capable d'émettre de la lumière lorsqu'il est parcouru par un courant électrique. Une diode électroluminescente ne laisse passer le courant électrique que dans un seul sens (le sens passant, comme une diode classique, l'inverse étant le sens bloquant), et produit un rayonnement monochromatique ou polychromatique non cohérent à partir de la conversion d'énergie électrique lorsqu'un courant la traverse [11].



Figure 2.1 : Symbole de la diode électroluminescente

2.2.2.2 Définition d'un système de réception

Un système infrarouge comprend trois éléments : l'**émetteur**, le **diffuseur** (parfois ces deux éléments sont combinés en une seule unité) et le **récepteur**. L'émetteur achemine le signal au diffuseur qui effectue sa conversion en rayonnement infrarouge. Le récepteur décode le signal infrarouge et restaure le signal original. Les composantes optiques sont des éléments particulièrement critiques d'un système infrarouge : les diodes électroluminescentes de l'émetteur et la diode photosensible du récepteur.

a. L'émetteur est une diode infrarouge. Cette diode émet de la lumière infrarouge lorsqu'un courant la traverse. Plus le courant est élevé, plus la lumière est intense.



Figure 2.2 : Diodes infrarouge

Un système infrarouge doit fonctionner de façon irréprochable dans des milieux où les niveaux de bruit infrarouge sont élevés : bruit dû au chauffage, aux lampes incandescentes ou à d'autres sources de chaleur. Pour obtenir cette immunité au bruit et donner au signal une portée suffisante, le rayonnement infrarouge est en général modulé à une fréquence comprise entre 30 à 50 KHz pendant la durée d'émission d'une unité d'information (bit).

b. Le récepteur est plus complexe. Le récepteur doit être en mesure de faire la différence entre la lumière infrarouge qui est omniprésente dans l'environnement et celle émise par l'émetteur.



Figure 2.3 : Récepteur des signaux infrarouge

2.2.3 Principe de fonctionnement

a. Partie émetteur : cette partie est assez simple, des diodes émettant des infrarouges seront actionnées par une carte, et chaque émission sera programmée différemment pour que chaque balise envoie un signal différent, afin que le récepteur puisse faire la différence entre les balises émettrices. Le circuit d'émission que nous utilisons est conçu spécialement pour la réalisation des circuits de réception afin de tester la capacité de réception de chaque circuit en fonction de la fréquence et de la puissance émises (notre système émet en 38kHz fixe). Nous avons donc choisi la diode émettrice en infrarouge, la LD274 de *Siemens* qui est utilisée dans la plupart des télécommandes infrarouge TV, magnétoscope, variateur de lumière... elle est très fiable et tenue élevée en régime impulsionnel. Il existe plusieurs méthodes pour réaliser un émetteur, nous utilisons la plus simple carte. Cette carte est composée d'une Arduino et une LED infrarouge, branchée sur l'une de ses sorties, l'autre patte sera connectée à la masse [12].

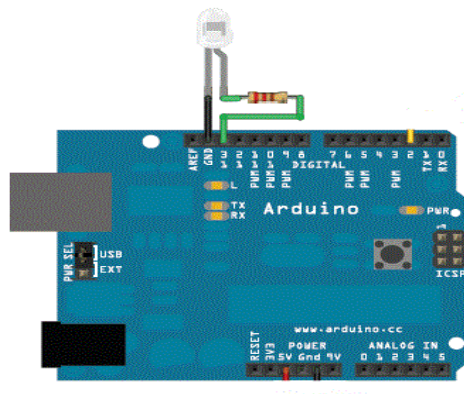


Figure 2.4 : Branchement de la LED infrarouge à l'Arduino

b. Partie récepteur : Il existe différents types de récepteurs afin d'aboutir à une réception de signal satisfaisante. Pour cela on fait appel à plusieurs modèles dans le but de bien réceptionner le signal sur quelques mètres (au moins deux à quatre mètres). Dans notre projet, nous arrivons à utiliser un récepteur de type TFMS 5300.

La série TFMS 5300 est un module de réception pour des systèmes à infrarouge, (comme celle de la télécommande). La diode et le préamplificateur sont assemblés sur la carte principale, le boîtier d'époxyde est conçu comme filtre IR. Le signal de sortie, démodulé peut être décodé directement par un microprocesseur. L'avantage principal est le fonctionnement fiable même dans des environnements perturbés [13].

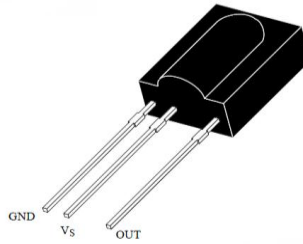


Figure 2.5 : Le récepteur TFMS 5300

Sur la sortie de réception, le détecteur infrarouge démodule ce signal, et fournit en sortie un signal de niveau logique indiquant si elle reçoit un signal ou non. Le détecteur IR qui fonctionnera le mieux c'est lorsque sa fréquence correspond à la fréquence de l'émetteur.

Le récepteur ; lorsqu'il ne perçoit pas de lumière pulsée à 38kHz, retourne un "1" logique. Dès qu'il détecte la lumière de l'émetteur, il retourne un "0" logique.

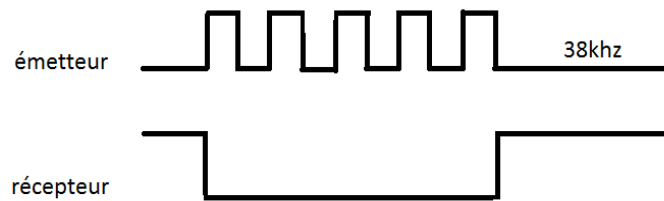


Figure 2.6 : Modulation émetteur-récepteur

2.2.4 Réalisation pratique

Pour éviter des grands montages électroniques, et afin de simplifier le plus possible, on s'intéresse dans notre projet à suivre les étapes suivantes :

- Réalisation d'un circuit capable de la réception d'un signal de même fréquence qu'un signal émit en infrarouge.
- Amplification variable de signal selon les besoins.
- Correction de signal initial de sorte que le bruit soit le plus petit possible pour que le microcontrôleur puisse analyser la trame.

Le circuit de réception que nous avons adopté est représenté en figure 2.7, ce dernier est relativement simple, il est constitué du récepteur TFMS 5300, un amplificateur pour assurer la lecture du signal reçu, une LED comme voyant qui s'allume dès l'arrivée du

signal infrarouge et s'éteint lorsqu'il n'y a pas de réception, et des résistances de polarisation et de protection.

On schématise notre circuit sur Proteus avant de le faire exécuter pour la réalisation sur une plaque électronique, afin de terminer avec le placement des différents composants électroniques à leurs places, comme montré sur les figures suivantes :

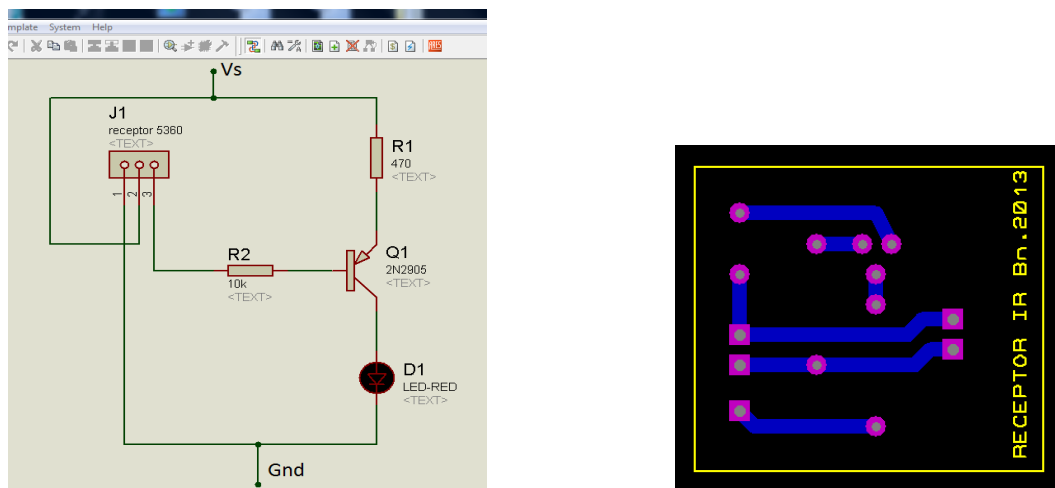


Figure 2.7 : Schéma et circuit imprimé de la carte de réception

2.2.5 Structure finale du circuit de la réception

Après le montage de nos composants électronique, *En.* on obtient notre circuit récepteur.

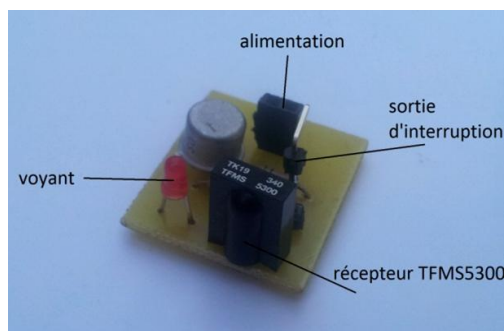


Figure 2.8 : Le circuit récepteur avec le TFMS 5300

2.2.6 Problèmes de transmission

Si l'envoi ne fonctionne pas, il faut assurer que la LED IR est réellement alimentée. Le signal IR est visible à travers une caméra vidéo ou un appareil photo de téléphone portable, c'est donc un moyen simple de vérifier la présence de ce signal. L'autre

problème potentiel est que si le récepteur ne comprend pas l'émetteur, par exemple si on envoie des données modulées avec une fréquence non adaptée.

2.2.7 Domaines d'application des systèmes infrarouge

- éclairage invisible pour caméra.
- système autofocus d'appareils photo et de caméras.
- commutation optique.
- sources de lumière des photos capteurs d'ordinateur, de photocopieurs ou de magnétoscope à cassette.
- commandes automatiques de portes dans l'industrie automobiles.
- techniques de protection (alarmes, détecteurs de fumée, interrupteurs à infrarouge).
- mesures de niveaux.
- détecteurs de position des aiguilles des horloges radiocommandées.

Les systèmes de transmission à infrarouge ont beaucoup d'atouts mais également des inconvénients qu'il est bon de considérer avant de s'engager. Nous en avons compté quelques-uns :

a. Avantages

- construction simple.
- bon marché.
- utilisation non soumise à autorisation.
- faible consommation.
- fonctionnement sur piles possible si les émissions ne sont pas permanentes.
- faible tension de service.
- utilisation simple.
- encombrement réduit.

b. Inconvénients

- portée réduite dans les milieux éclairés.
- sensibilité aux parasites des lampes à faible consommation ou des tubes fluorescents.
- trop grande variété du fait de l'absence de normes.

- propagation limitée.
- Directivité.
- faible portée.
- faible cadence de modulation.

2.3 La carte de commande Arduino

2.3.1 Définition de la carte Arduino Uno

Arduino est une plateforme de prototypage d'objets interactifs à usage créatif, constituée d'une carte électronique et d'un environnement de programmation.

La carte **Arduino Uno** repose sur un circuit intégré ATmega328p (un mini ordinateur appelé également microcontrôleur) associée à des entrées et sorties qui permettent à l'utilisateur de brancher différents types d'éléments externes :

- Côté entrées, des capteurs qui collectent des informations sur leur environnement comme la variation de température via une sonde thermique, le mouvement via un détecteur de présence ou un accéléromètre, le contact via un bouton-poussoir etc.
- Côté sorties, des actionneurs qui agissent sur le monde physique telle une petite lampe qui produit de la lumière, un moteur qui actionne un bras articulé ...etc. **[14]**

2.3.2 Les caractéristiques de la carte Arduino Uno

- Micro contrôleur : ATmega328p
- Tension d'alimentation interne : 5V
- Tension d'alimentation recommandée : 7 à 12V
- Entrées/sorties numériques : 14 dont 6 sorties PWM
- Entrées analogiques : 6
- Courant max par broches E/S : 40 mA
- Courant max sur sortie 3,3V : 50 mA
- 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

2.3.2.1 Le microcontrôleur ATmega328p

C'est un circuit intégré qui rassemble les éléments essentiels d'un ordinateur : processeur, mémoires (la RAM pour le programme, ROM pour les données), des périphériques et interfaces d'entrées-sorties. Les microcontrôleurs se caractérisent par un plus haut degré d'intégration, une plus faible consommation électrique (il consomme quelques *milliwatts* en fonctionnement et quelques *nanowatts* en veille), une vitesse de fonctionnement de quelques dizaines de *Mégahertz*, un coût réduit par rapport aux microprocesseurs polyvalents utilisés dans les ordinateurs personnels [14].

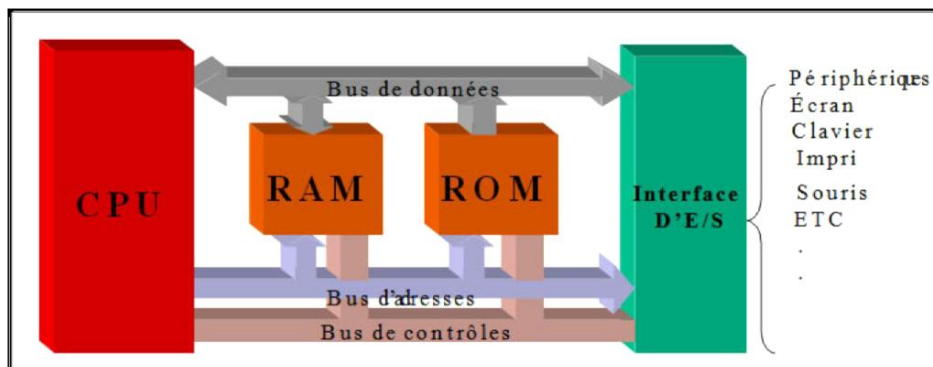


Figure 2.9 : Schéma simplifié d'un microcontrôleur

2.3.2.2 L'alimentation

Les Arduinos peuvent être alimentés via la connexion USB ou avec une alimentation externe. La source d'alimentation est sélectionnée automatiquement.

L'alimentation externe peut provenir soit d'un adaptateur AC-DC ou d'une batterie.

- **VIN** : La tension d'entrée à la carte Arduino quand il s'agit d'utiliser une source d'alimentation externe.
- **5V** : Cette broche produit un 5V régulé par le régulateur sur la carte. L'Arduino peut être alimenté soit à partir de la prise d'alimentation CC (7 - 12V), le connecteur USB (5V) ou la broche VIN du conseil (7-12V).
- **3V3** : Une alimentation de 3,3 Volts générée par le régulateur à bord. Le courant maximal sur la broche est de 50mA.
- **GND** : Broches de masse.

2.3.2.3 les entrées sorties de l'Arduino Uno

Chacune des 14 broches numériques de la carte Uno peut être utilisée en entrée ou en sortie, fonctionnent en logique TTL (0V-5V) ; chacune est disposée d'une résistance interne pour la polarisation.

Certaines branches ont des fonctions spécialisées :

- Serial : broche 0 (RX), et broche 1 (TX). Permet de recevoir (RX), et de transmettre (TX) des données séries TTL.
- Interruptions externes broche 2 et 3. Ces broches peuvent être configurées pour déclencher une interruption sur une valeur LOW, sur un front montant ou descendant.
- PWM : broches 3, 5, 6, 9, 10, et 11 ; sont des sorties de PWM fonctionent avec la fonction analogWrite().
- LED : il existe une LED connectée à la broche numérique 13.
- Reset : un bouton utilisé typiquement pour permettre au niveau bas (LOW) de faire un reset du contrôleur.

La carte Uno a 6 broches d'entrée analogiques, de A0 à A5, avec une résolution de 10bits (de 0 à 1024 valeurs différentes) [14].

Après ces explications, nous présentons la carte Arduino Uno avec ces différents connecteurs :

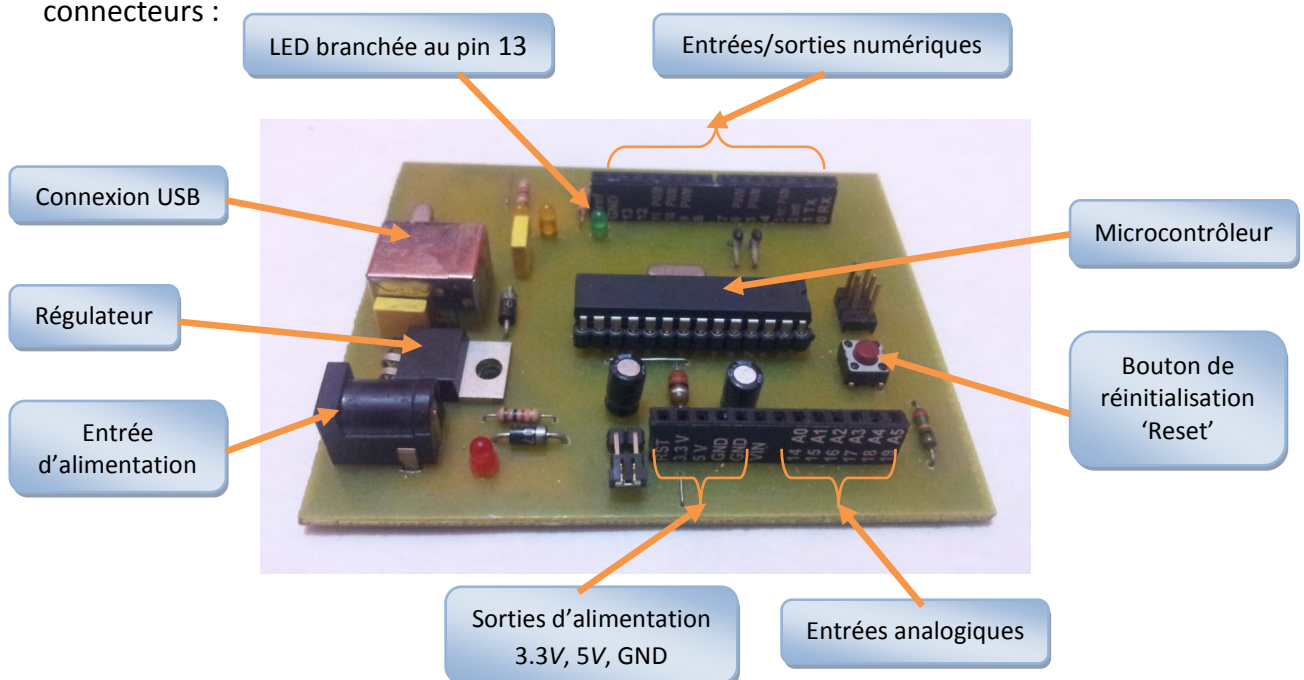


Figure 2.10 : La carte de commande Arduino Uno

2.3.3 Présentation de l'Espace de Développement Intégré (EDI) Arduino

L'environnement de programmation Arduino (IDE) est une application écrite en Java inspirée du langage Processing. L'IDE permet d'écrire, de modifier un programme et de le convertir en une série d'instructions compréhensibles par le microcontrôleur.

Le logiciel Arduino a des fonctions principales :

- Pouvoir écrire et compiler des programmes pour la carte Arduino.
- Connecter la carte Arduino avec un PC pour y transférer les programmes.
- De communiquer avec la carte Arduino à travers le port série 0.

Cet espace de développement intégré EDI qui est dédié à la programmation des cartes Arduino comporte :

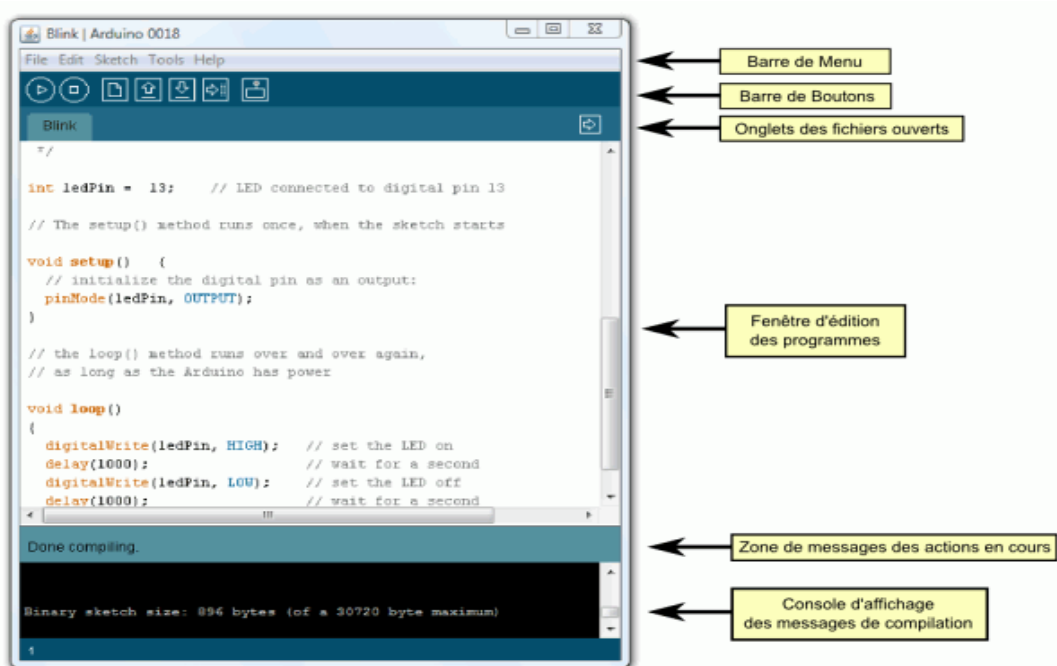


Figure 2.11 : Présentation de la fenêtre EDI de l'Arduino Uno

2.4 Conclusion

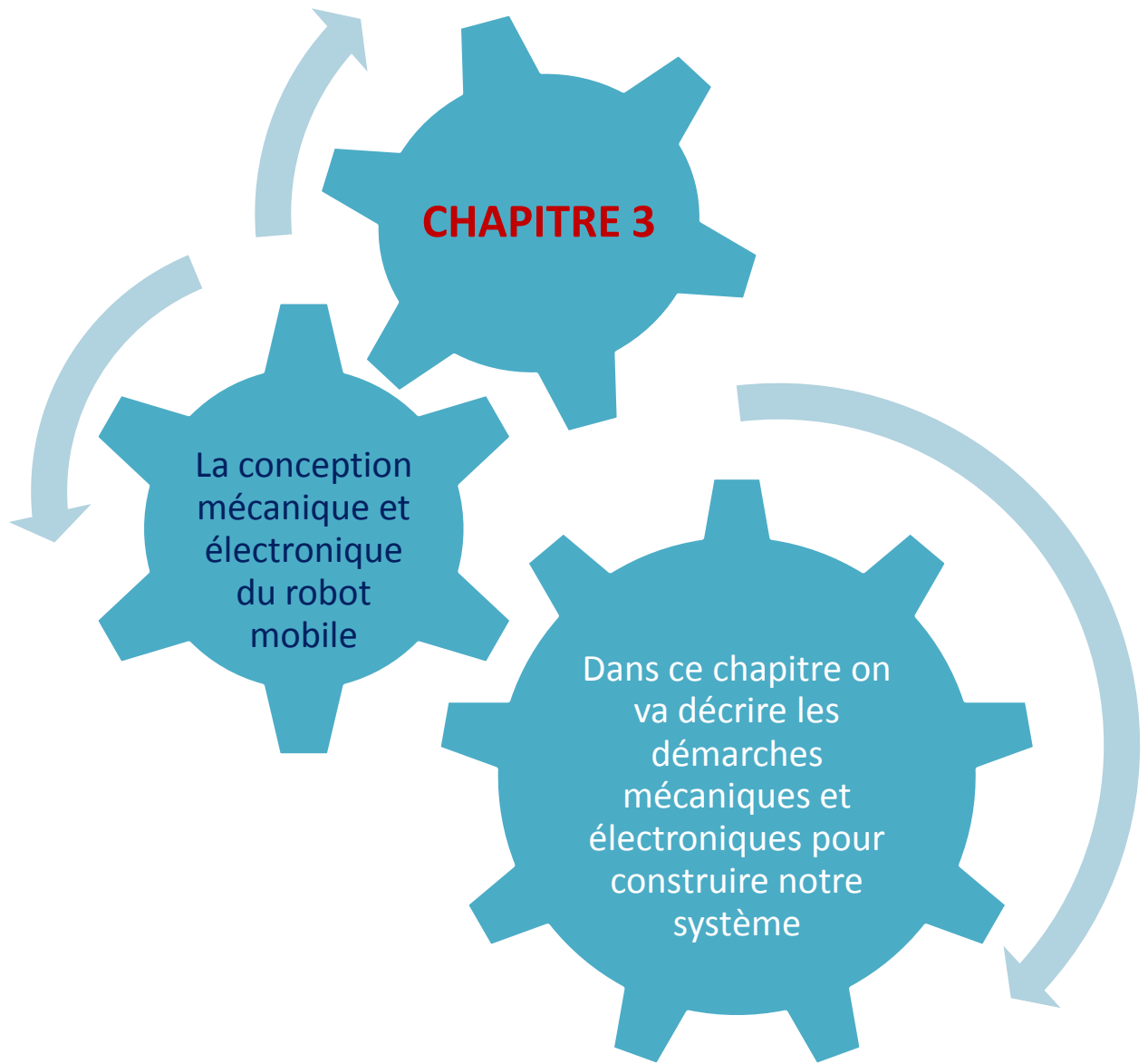
Les systèmes de balise contiennent deux essentiels dispositifs, l'émetteur et le récepteur, afin de garantir la bonne réception des signaux émis et pour la facilité de la navigation du robot mobile à l'aide des cartes de commandes.

La carte de commande Arduino est une carte très utilisée dans le domaine de la robotique grâce à sa rapidité et facilitée d'utilisation, c'est pour cela que nous l'avons choisie pour la gestion des données et pour la commande de notre robot.

Dans le prochain chapitre, on parlera de la conception mécanique et électronique pour la réalisation de notre robot.

Chapitre 3





CHAPITRE 3

La conception
mécanique et
électronique
du robot
mobile

Dans ce chapitre on
va décrire les
démarches
mécaniques et
électroniques pour
construire notre
système

3.1 Introduction

Dans ce chapitre on va présenter les étapes à faire pour construire notre système. On va commencer avec une présentation et une explication de la partie mécanique, puis on va passer à décrire la partie électronique.

3.2 Partie mécanique

3.2.1 La conception mécanique de la plateforme mobile

La règle principale dans la construction d'un robot est de bien concevoir sa mécanique, parce que la précision des tâches accomplir et le déplacement de ce dernier dépendent de la précision de sa structure mécanique. Ce qui nous a amène a réalisé une structure mécanique relativement simple et efficace.

a. Structure mécanique de la plateforme mobile

L'objectif est d'obtenir un petit robot mobile qui répond au cahier des charges pour Eurobot 2013 qui est stable mécaniquement, sa forme, sa base, ainsi que les supports des moteurs sont en aluminium. (Figure 3.1). On a choisi cette matière à l'avantage de prendre des différentes formes, rigide, légère et facile à percer et manipuler.

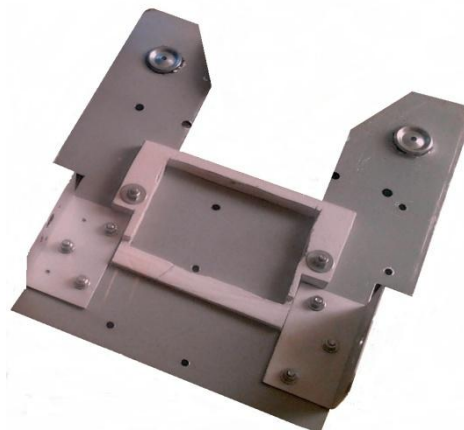


Figure 3.1 : Structure mécanique de la plateforme mobile

Pour obtenir un bon déplacement du robot, des appuis ont été réalisés; deux roues solidaires aux arbres des moteurs à l'arrière du robot, et deux appuis libre à l'avant assurer par deux roues billes.

Les systèmes de fixation que nous avons utilisés sont à base de vis écrous, afin de faciliter la modification ou l'intervention en cas de problème.

- **La plateforme ou le châssis**

La plateforme est une plaque rigide, fait d'une matière résistante. Le choix de la plateforme est très important, c'est l'élément qui va supporter tout le poids du robot. Elle ne doit pas subir une quelconque déformation.

La plateforme est faite entièrement en aluminium d'une épaisseur de 4mm qui doit être rigide et légère en même temps. Ce qui permettra aux moteurs de locomotion de consommer moins d'énergie lors de son déplacement.

Comme nous l'avons déjà précisé, la plateforme possède une forme qui respecte le règlement et le cahier de charge du concours d'Eurobot 2013 (Ex : périmètre), et qui libère plus d'espace pour les systèmes mécaniques, la batterie, les moteurs et les cartes électroniques. (Figure 3.2).

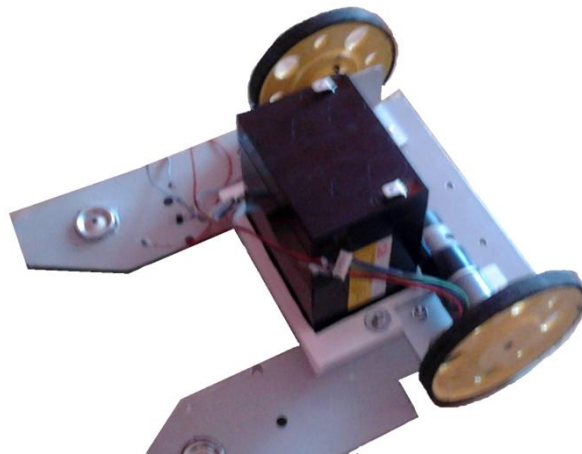


Figure 3.2 : La plateforme du robot mobile

b. La locomotion

L'un des éléments essentiels pour garantir une bonne performance d'un robot mobile en extérieur est la structure de locomotion de la plateforme utilisée.

La locomotion de notre système est assurée par : deux roues et deux roue-bille.

- **Les roues**

La structure mécanique la plus connue est la mobilité par des roues, c'est la plus appliquée.

Les roues ont été usinées et étudiées de telle façon à donner au robot une meilleure adhérence à la table, un bon déplacement et une meilleure traction.

Les gèntes sont usinées à base d'aluminium rigide, ce qui offre plus de légèreté aux roues. Elles font 100mm de diamètre et 10mm de largeur et recouvertes d'une mince couche d'une matière élastique anti-glissante, afin d'éviter le glissement des roues sur la table et diminuer les vibrations sur la trajectoire.

Pour fixer les roues aux axes des moteurs, on fait deux trous pour deux vis au centre des jantes.



Figure 3.3 : Les roues du robot mobile

- **La roue-bille**

Afin d'assurer la stabilité et l'équilibre de notre robot, les deux roues en aluminium n'étant pas suffisantes. Nous avons utilisé deux roue-billes placées en avant de la plateforme comme un autre point d'appui pouvant se déplacer librement en toutes les directions.



Figure 3.4 : La roue-bille

c. La motorisation

Les moteurs utilisés de manière classique en robotique sont assez diversifiés. Les plus répandus sont les moteurs pas à pas, les moteurs à courant continu et enfin les servomoteurs bien connus dans le milieu du modélisme.

Dans notre projet on utilise des moteurs à courant continu (DC) de type EMG30, c'est un moteur de 12V avec un réducteur, équipé aussi complètement avec des encodeurs de 360 impulsions/tour, d'une puissance de 6W sous une tension de 12V. C'est idéal pour les applications robotiques petites et moyennes. Il inclut aussi un condensateur de la suppression du bruit standard à travers l'enroulement du moteur.



Figure 3.5 : Le moteur EMG30

d. Les supports des moteurs

Pour assurer une bonne fixation des moteurs à la plateforme du robot mobile, on utilise des supports en aluminium comme suivant :



Figure 3.6 : Le support du moteur EMG30

e. Le bouton d'arrêt d'urgence

Notre robot a un bouton d'arrêt d'urgence de 20mm de diamètre. Ce bouton a une couleur visible, placé dans une position visible aussi et dans une zone qui n'est pas dangereuse (sur le sommet du robot) et immédiatement accessible à tout moment.

L'appui sur ce bouton provoquera l'arrêt immédiat des moteurs et tous les actionneurs du robot.



Figure 3.7 : Bouton d'arrêt d'urgence

f. Le bras manipulateur

Dés que le robot arrive à sa destination, il utilise un bras pour des manipulations désirées. Pour cela on utilise une baguette en aluminium de 20cm de longueur pour arriver aux cadeaux trouvant devant les balises, lorsqu'elle dirige vers ces derniers. La baguette est fixée sur un servomoteur, à l'aide d'un support sur la plateforme de notre robot.

Le servomoteur est un système asservi, constitué d'un moteur à courant continu capable de maintenir une opposition à un effort statique pour un control adéquat de l'angle de rotation de l'axe du ce moteur.

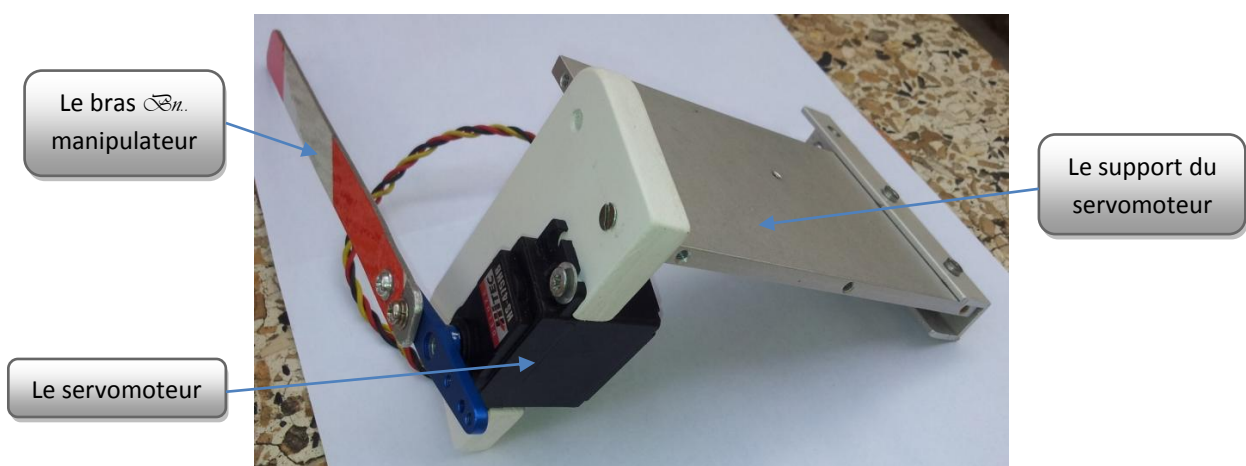


Figure 3.8 : Le support du bras manipulateur

3.3 Partie électronique

3.3.1 La conception électronique du robot mobile

Dans la conception d'un robot mobile, la partie électronique joue un rôle très important dans le fonctionnement du système. Afin d'assurer la mise en marche de tous les systèmes mécaniques vus dans le titre précédent, notre robot doit disposer de plusieurs cartes électroniques qui assurent le bon fonctionnement.

Nous intéressons dans le synoptique suivant (schéma synoptique) de la partie électrique qui est constituée de :

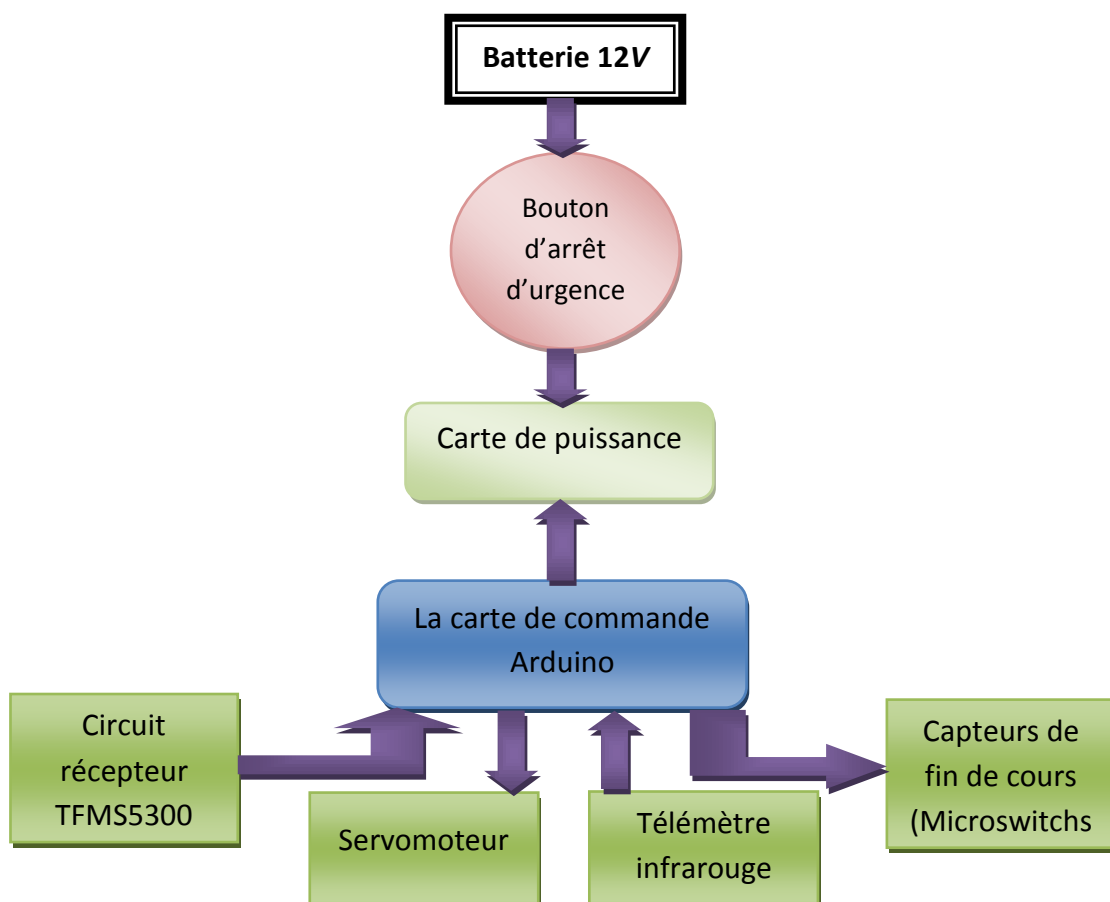


Figure 3.9 : Schéma synoptique de la partie électronique

a. Source d'énergie (la batterie)

Pour l'alimentation des moteurs et des différents circuits du chaque robot mobile on est besoin d'une source d'énergie. Dans notre cas on utilise une batterie de 12V, et d'un

courant de 4.5Ampère/h, placée à la base de la plateforme entre les deux moteurs des roues.

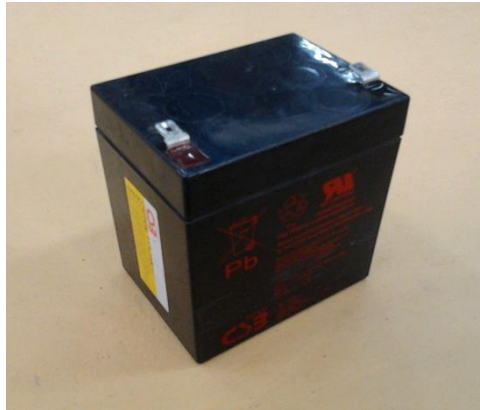


Figure 3.10 : Batterie 12V pour l'alimentation

b. Contrôle des moteurs

Pour la commande de notre robot, on a besoin du bon fonctionnement des deux moteurs à courant continu que nous avons utilisés. Il faudra donc contrôler le sens et la vitesse de ces moteurs.

On est souvent obligé d'inverser la polarité des moteurs pour un bon déplacement dans toutes les directions. Donc nous devons être capables de produire une tension variable et commandable. Pour cela on utilise une solution à ce problème qui s'appelle le montage pont H, qui est constitué de 4 transistors montés en H.

c. Le fonctionnement du pont H

Le pont H est constitué de quatre transistors MOSFET fonctionnant comme un interrupteur, selon l'état des interrupteurs. On trouve quatre états pour changer le sens des moteurs grâce aux signaux PWM (MLI : Modulation de la Largeur d'Impulsion), provenant du microcontrôleur de la carte de commande.

Les changements des états de ce principe sont représentés par les figures suivantes :

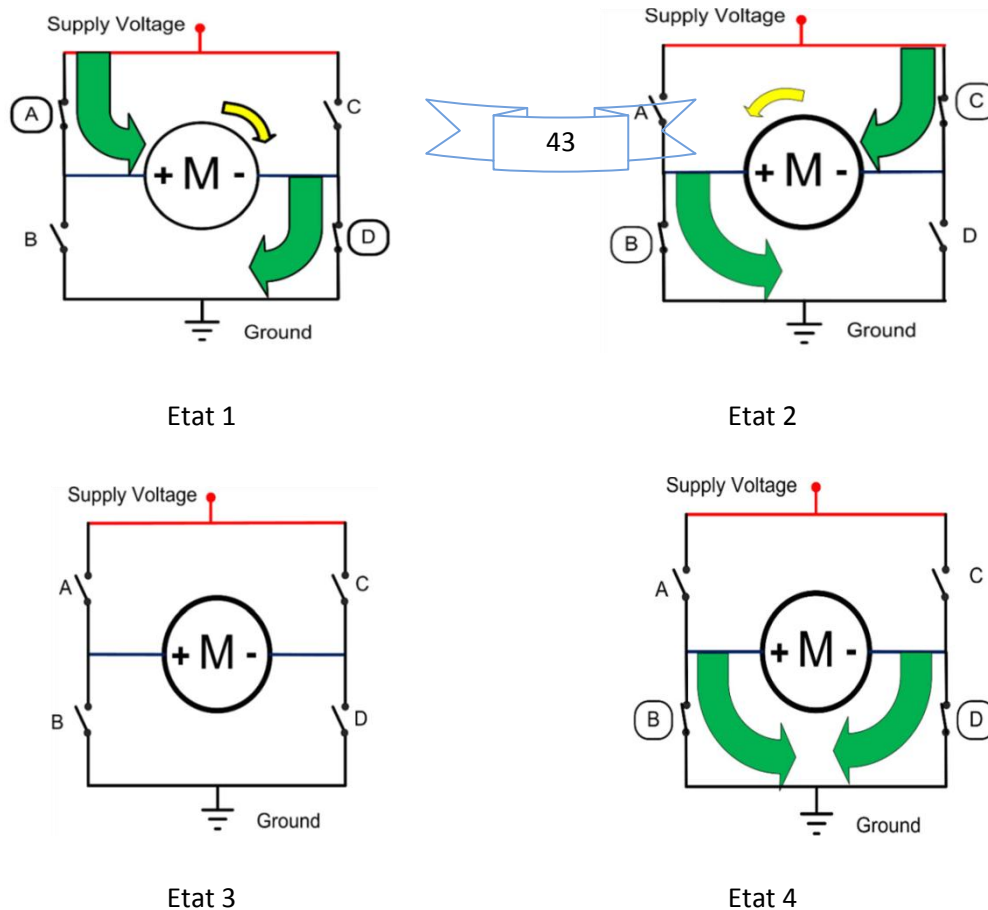


Figure 3.11 : Principe de commutation

Etat 1 : les deux interrupteurs A et D sont fermés, les deux autres B et C sont ouverts ; le courant circule dans le sens représenté alors le moteur tourne dans un sens.

Etat 2 : les deux interrupteurs B et C sont fermés, les deux autres A et D sont ouverts, l'inverse du cas précédent ; le moteur tourne dans le sens contraire de l'état 1.

Etat 3 : aucun interrupteur n'est fermé ; le moteur ne tourne pas (aucune tension à ses bornes).

Etat 4 : les interrupteurs B et D sont fermés, les pôles du moteur sont en court-circuit ; c'est l'état du cas de freinage.

d. La réalisation de la carte de puissance

On veut réaliser une carte d'alimentation électronique pour piloter deux moteurs de type courant continu. Ce montage se concentre sur l'élément central qui est le cœur du montage. Ce composant central est un L298.

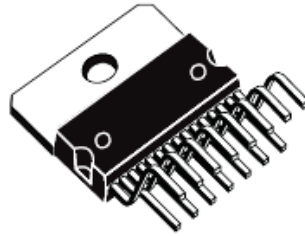


Figure 3.12 : Le L298 double pont H

Le circuit L298 de SGS Thomson est une référence en matière d'interface pour des moteurs à courant continu et des moteurs pas à pas. Ces caractéristiques à basse tension, autour de 12Volts, lui confèrent une place incontestée dans les circuits de puissance intégrée.

La carte d'alimentation est utilisée pour fournir une tension nécessaire pour actionner les moteurs de notre robot. Elle intègre un régulateur à faible chute de tension qui pourra servir d'alimentation pour les autres cartes électroniques dans notre robot. Cette carte est alimentée en 12V et reçoit des commandes MLI issues de la carte de commande (Arduino).

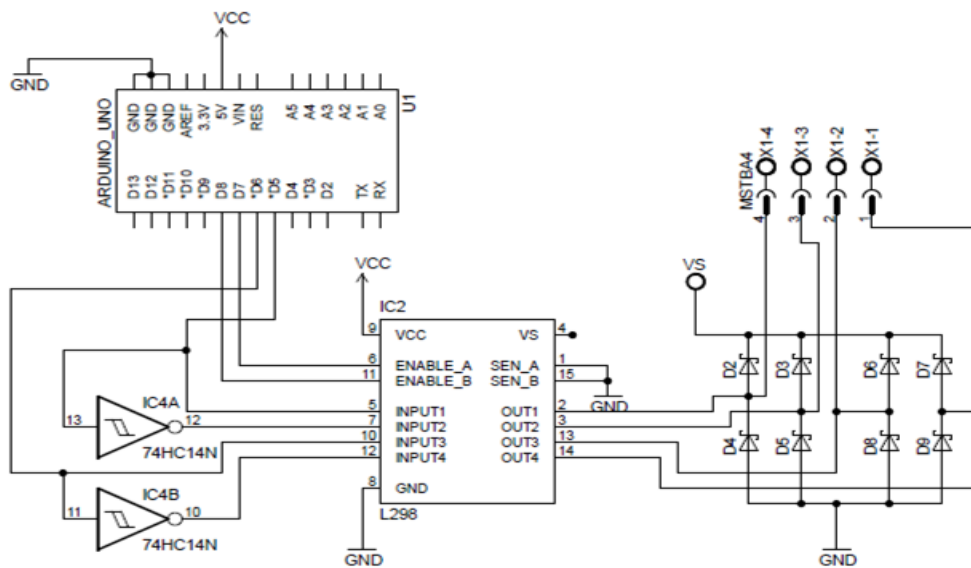


Figure 3.13: Schéma interne de la carte de puissance

Le rôle de la carte est d'envoyer des commandes pour faire avancer, reculer et tourner les moteurs en fonction de la tâche à accomplir.

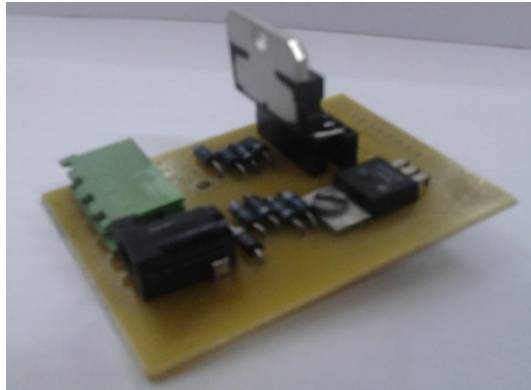


Figure 3.14 : La carte d'alimentation avec le pont H

3.3.2 La commande du moteur à courant continu par les signaux PWM

Il existe plusieurs méthodes pour commander un moteur à courant continu :

- Commander son sens de rotation par un relai monté en tout ou rien ou bien un transistor.
- Commander sa vitesse par variation de la tension à ses bornes ou par génération des signaux PWM.

3.3.3 La variation de vitesse par commande des signaux PWM

Elle consiste à fournir au moteur une tension constante soit la tension maximale. Cette tension ne sera appliquée que par très courtes périodes de temps. En ajustant la longueur de ces périodes de temps, on arrive à augmenter la vitesse des moteurs. Cette vitesse devient proportionnelle à la longueur des périodes de temps. En réalité, cette méthode est fortement connue en contrôle des systèmes et en électronique.

Un signal PWM est un signal dont la période est fixe, mais le rapport cyclique varie.

En d'autres termes, t_1 et t_2 varient tout en conservant la période $T = \text{constante}$. (Figure 3.15).

On peut définir : t_1 : temps d'enclenchement.

t_2 : temps de déclenchement.

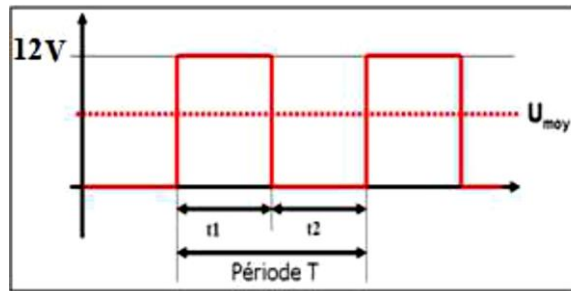


Figure 3.15 : Signal PWM

La tension moyenne vue par la charge est donc dépendante du rapport entre le temps d'enclenchement et le temps de déclenchement, nous parlons de taux PWM, donné habituellement en pourcentage (%). Pour l'exemple montré avec 12Volts, la PWM nous permet de balayer toute la plage de 0V (taux de 0%), à 12V (taux de 100%), et ainsi avoir une source variable de 0 à 12V.

- **Fréquence du signal MLI (PWM)**

Le choix de cette fréquence est très important dans la mesure, où si cette fréquence est trop basse, la valeur moyenne de la tension et du courant d'alimentation ne seraient pas suffisamment continus et ceci serait donc le cas pour la vitesse de rotation. D'autre part une fréquence trop élevée n'est pas souhaitable car dans ce cas, les temps de commutations sont trop courts ce qui provoquerait un dégagement de chaleur au niveau des circuits de puissances, car les sorties de ces composants n'ont pas le temps suffisant pour basculer de l'état haut vers l'état bas pour revenir vers l'état haut etc. et la sortie resterait ainsi insensible aux changements du rapport cyclique. En pratique une fréquence de quelque *KHz* est un bon choix (Ex : 20*KHz*).

3.3.4 Commande du robot

Pour la commande et la programmation de notre robot, on utilise une carte de commande de type Arduino Uno. Elle est dotée de 32 broches d'entrées et sorties, et se dispose de 16 entrées logiques, comme on a déjà décrit au chapitre deux (figure 2.10).

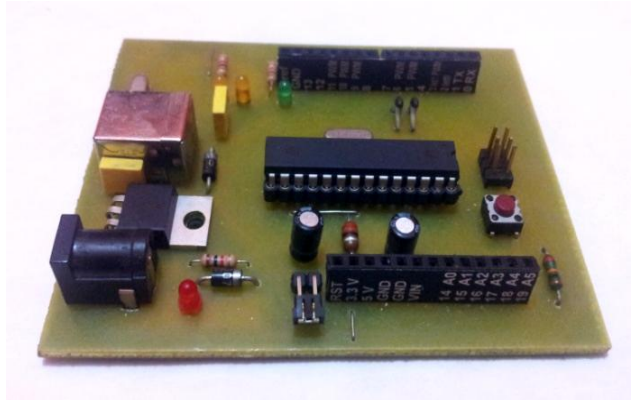


Figure 3.16 : La carte Arduino

Les mouvements du robot sont programmés par l'intermédiaire du programme chargé dans ce module Arduino, qui transmet les ordres pour actionner les deux moteurs des roues à travers la carte de puissance.

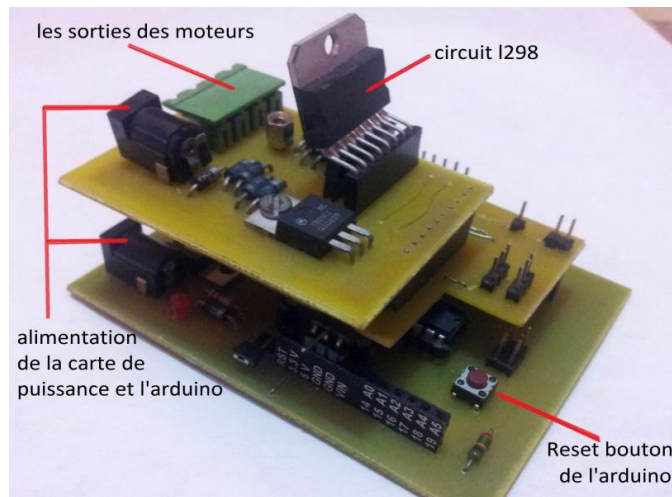


Figure 3.17 : L'assemblage de la carte de puissance et la carte Arduino

3.3.5 Le circuit récepteur

Pour la réception du signal, nous avons opté pour un récepteur du signal infrarouge de type TFMS 5300, celle que nous avons déjà présenté dans le chapitre précédent au (figure 2.8).

3.4 Structure finale du robot

Après l'assemblage des différentes pièces et les circuits réalisés sur la plateforme, on obtient la structure finale de notre robot mobile :

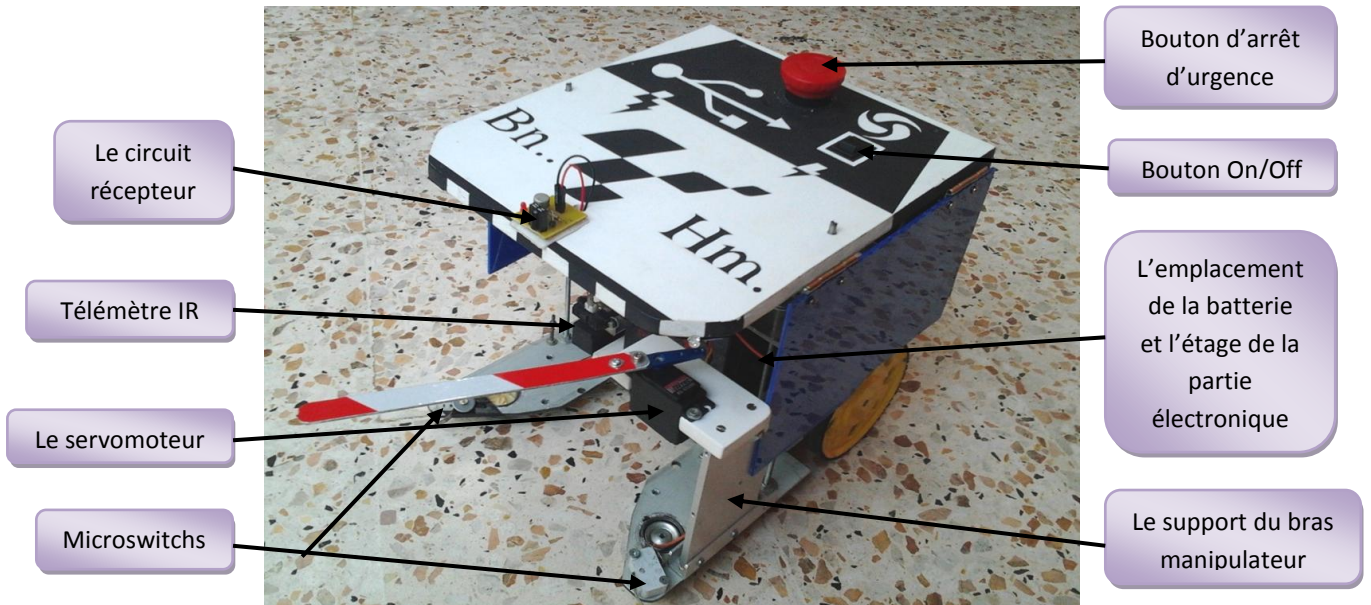


Figure 3.18 : La structure finale du robot

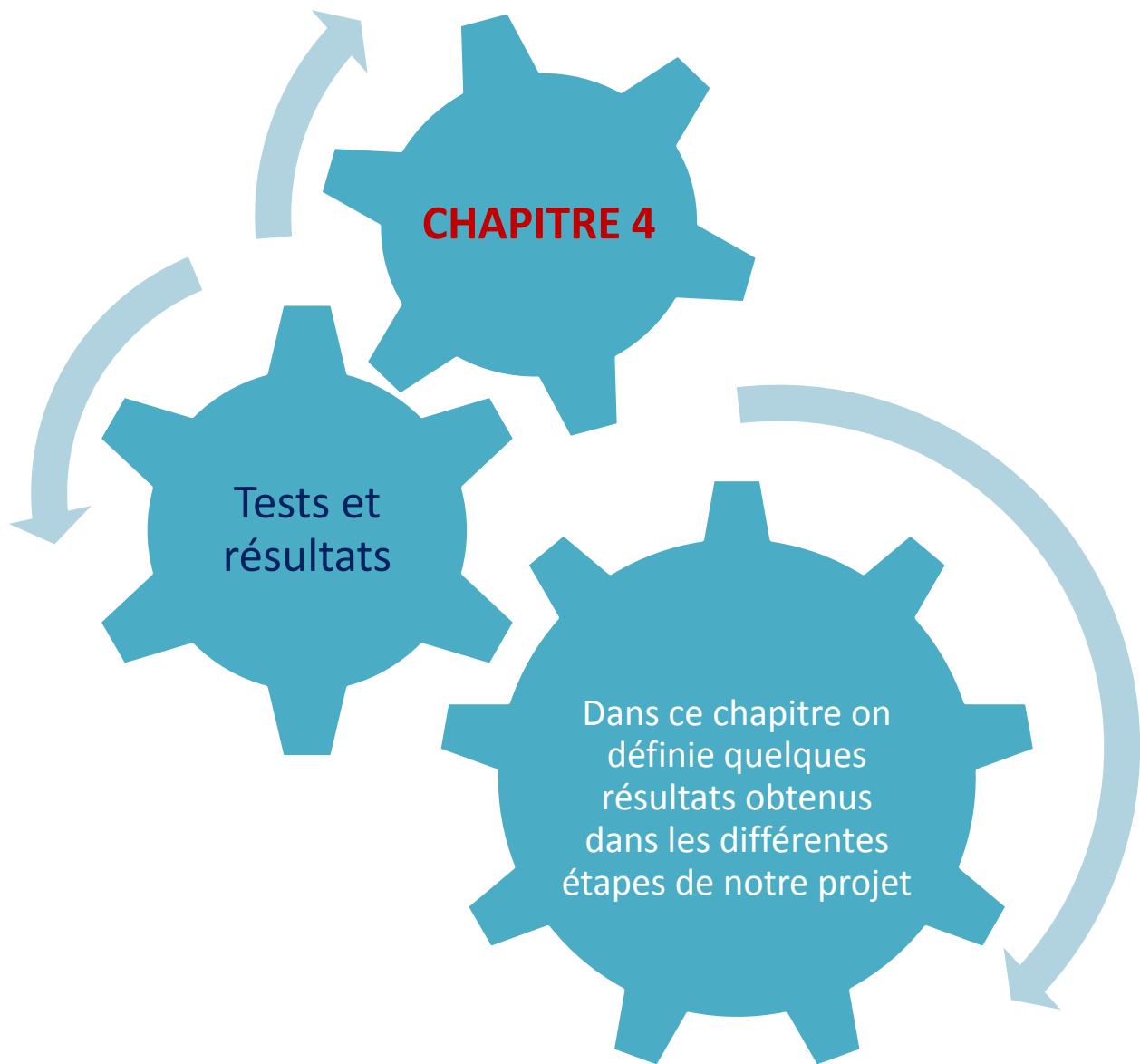
3.5 Conclusion

Au cours de ce chapitre nous avons décrit les différents composants utilisés dans notre projet pour la réalisation pratique. On a commencé par la partie mécanique comprenant le châssis de robot, les roues et les moteurs. Et la partie électronique, où on a cité les différentes cartes comme l'Arduino et la carte de puissance.

Après avoir réalisé la partie mécanique et électronique, on a programmé la carte de commande Arduino. Maintenant on doit donc faire des essais dans le but de bien contrôler le déplacement de notre robot pour obtenir les résultats souhaités.

Chapitre 4





CHAPITRE 4

Tests et
résultats

Dans ce chapitre on
définie quelques
résultats obtenus
dans les différentes
étapes de notre projet

4.1 Introduction

Nous arrivons dans ce chapitre à la dernière étape de notre projet, c'est des résultats obtenus des différents tests lors de la réalisation et la conception de notre robot. En expliquant les différentes liaisons entre les périphériques, et les problèmes rencontrés pendant la réalisation de notre système.

L'organigramme ci-dessous englobe les étapes de démarche de notre projet :

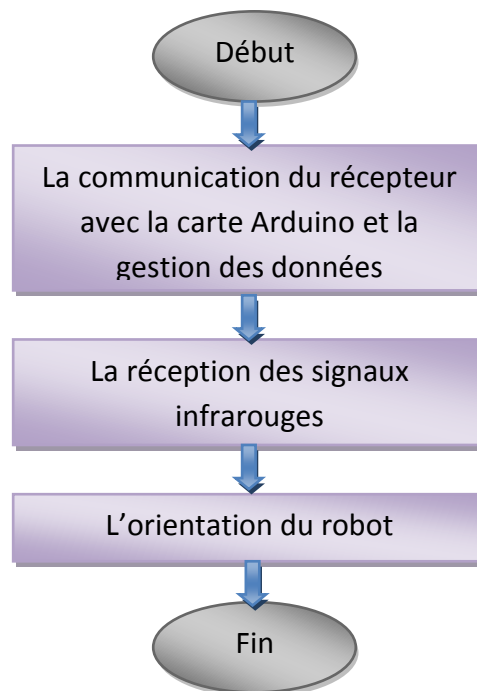


Figure 4.1 : Les étapes du travail

4.2 Étude théorique

La liaison entre le robot, l'émetteur, le récepteur et le PC est réalisée à l'aide des interfaces de communication, afin d'ajouter ou modifier des informations ou des données de l'environnement agissant sur le robot.

4.2.1 Le raccordement entre le PC et la carte Arduino

Nous implémentons des programmes à exécuter à travers notre microcontrôleur Arduino Uno.

Le programme va charger du PC sur la carte de commande Arduino après qu'il est compilé sur l'interface de développement intégré (IDE). Les données sont envoyées via un câble Com USB, comme celle des imprimantes, branché sur un port USB du PC.



Figure 4.2 : Câble USB

4.2.2 Le raccordement de l'Arduino avec le circuit récepteur

Afin de récupérer les informations nécessaires pour la navigation et l'orientation du robot, on est besoin de la bonne réception du signal émet. Pour cela ; le récepteur est raccordé avec les pins essentiels de l'Arduino. Ces pins doivent être raccordés de la façon suivante :

- Une entrée d'alimentation branchée à la sortie 5V de l'Arduino.
- Une broche GND.
- Une sortie du récepteur branchée au pin digital 8 pour mesurer la période.

La figure 4.3 montre le branchement du récepteur avec la carte de commande Arduino.

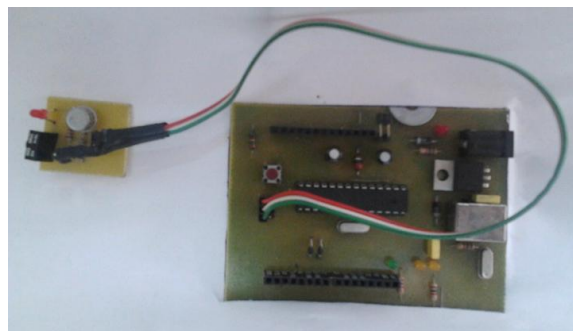


Figure 4.3 : Le raccordement Arduino-récepteur

4.2.3 Les Microswitchs

Le module Microswitch permet de détecter un contact physique avec n'importe quel obstacle. Les Microswitchs, et appelés aussi fin de course, sont des boutons poussoirs simples à utiliser. À leurs déclenchement, ils passent à l'état bas (0 Volt), et en position de repos restent à l'état haut (Vcc).

Dans notre projet on a utilisé trois Microswitchs, deux sont placés en avant du robot, et le troisième en arrière, dans le but de permettre à notre robot de déterminer les bordures de la table.

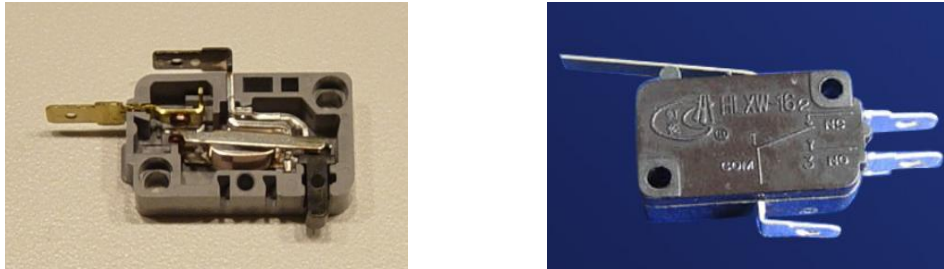


Figure 4.4 : Microswitchs

4.2.4 La communication émetteur-robot

Pour aider le robot à rejoindre sa destination, on utilise des émetteurs infrarouges placés sur des balises. Le récepteur sur le robot doit capter les signaux envoyés par ces émetteurs.

Nous avons choisi la solution d'émettre une porteuse infrarouge modulée par des signaux carrés de fréquences différentes, de réceptionner ces signaux, les démoduler et de les filtrer afin d'identifier la balise émettrice.

Le robot se départ de sa position initiale et se déplace en avant, il tourne sur lui-même cherchant une telle fréquence désirée. Dans ce même temps la balise1 émet un signal infrarouge d'une fréquence connue de 38KHz, et la balise2 envoie une autre fréquence différente de celle de la première balise, afin que le récepteur puisse faire la différence. Lorsque le robot capte et reçoit un signal d'une fréquence identifiée dans son programme et correspondante à telle balise, il changera sa direction et avance vers cette balise émettrice. À leur arriver à la zone désirée, le télémètre infrarouge arrêtera le robot et actionne le bras manipulateur à l'aide d'un servomoteur pour débarrasser les cadeaux trouvant devant cette balise. Ce capteur a l'avantage de se déclencher à n'importe quelle distance inférieure à 15cm s'il rencontre un obstacle. Si la fréquence envoyé n'est pas complètement reçu, ou s'il y a un obstacle devant le robot qui s'occupe la réception du signal, le robot s'arrêtera d'avancer et revenir à tourner sur lui-même en attendant la réception du signal.

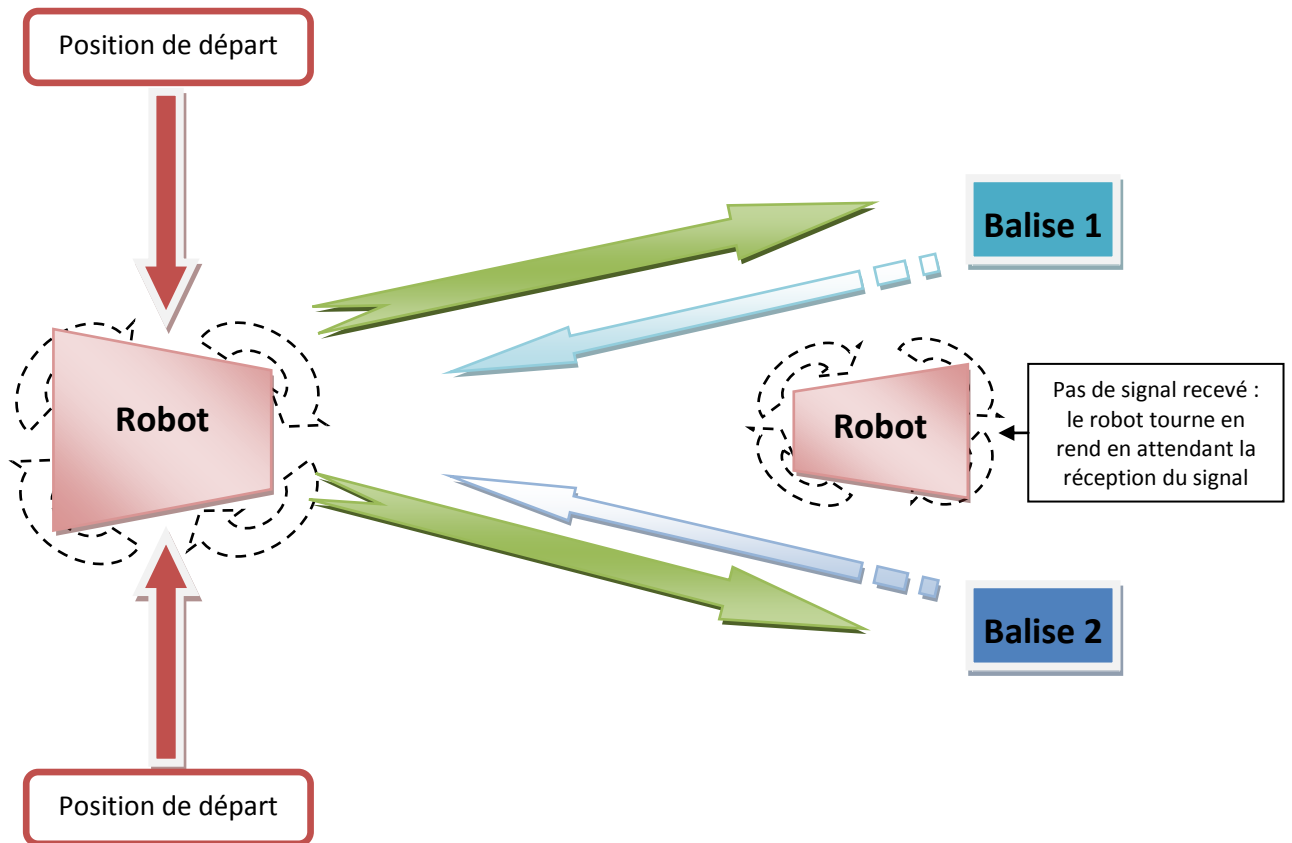


Figure 4.5 : Le déplacement du robot vers les balises

4.3 Les problèmes rencontrés

Dans les démarches de notre projet et comme chaque projet à étudier, et après la réalisation du notre système et l'essayer sur table, on a rencontré quelques difficultés et on a remarqué des failles et des ouvertures que les études théoriques ne mettaient pas en évidence. On a trouvé plusieurs problèmes, parmi lesquels nous citons :

- Si le récepteur n'est pas vraiment orienté vers la balise émettrice, et s'il y a une différence d'altitude entre l'émetteur et le récepteur placé sur notre robot, alors la réception n'était pas parfaite et quelque fois le robot ne se déplace jamais à cette balise.

Pour que la réception soit disponible, le récepteur doit être trouvé au même niveau que l'émetteur pour avoir des bons résultats.

- On trouve au cours des tests de notre projet des difficultés avec la lumière, même dans l'ombre. Les effets d'une lampe halogène ne donnent pas des mêmes résultats

qu'une lampe à néon, et même à la lumière du jour. La différence de lumière donne chaque fois des parasites au signal émet.

- On remarque aussi que la vitesse des deux moteurs des roues (malgré que les moteurs sont de mêmes types), n'est pas parfaitement identique. Alors si le robot reçoit le signal et se dirige vers son but, il ne marche pas dans une ligne droite vers la balise.
- On rencontre un problème d'asservissement dans le déplacement du robot.

4.4 Étude pratique

Après la réception des signaux infrarouges émettent par des balises, et l'extraction des données nécessaires ; le robot s'oriente vers la zone désirée.

Dans cette partie, nous intéressons au programme basé sur l'organigramme général suivant :

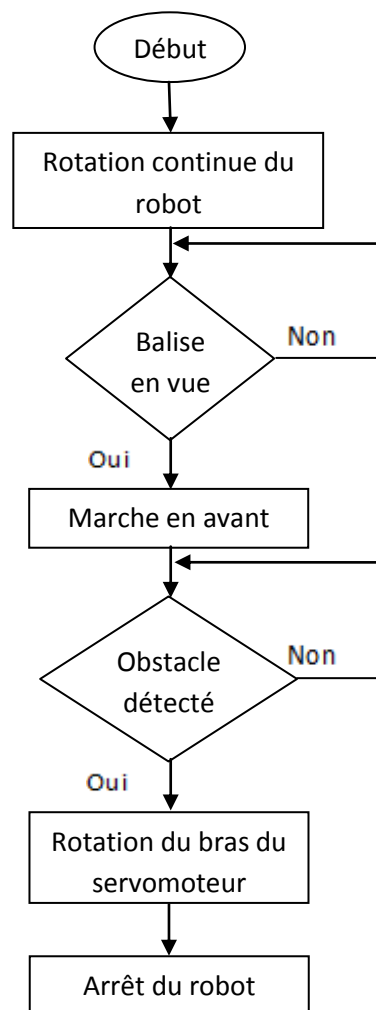


Figure 4.6 : L'organigramme d'orientation du robot

4.4.1 La communication des interfaces

Dans notre projet nous avons utilisé des circuits électroniques, des moteurs et des périphériques que nous avons cités dans la figure ci-dessous. Cette figure montre le raccordement des différents périphériques utilisés.

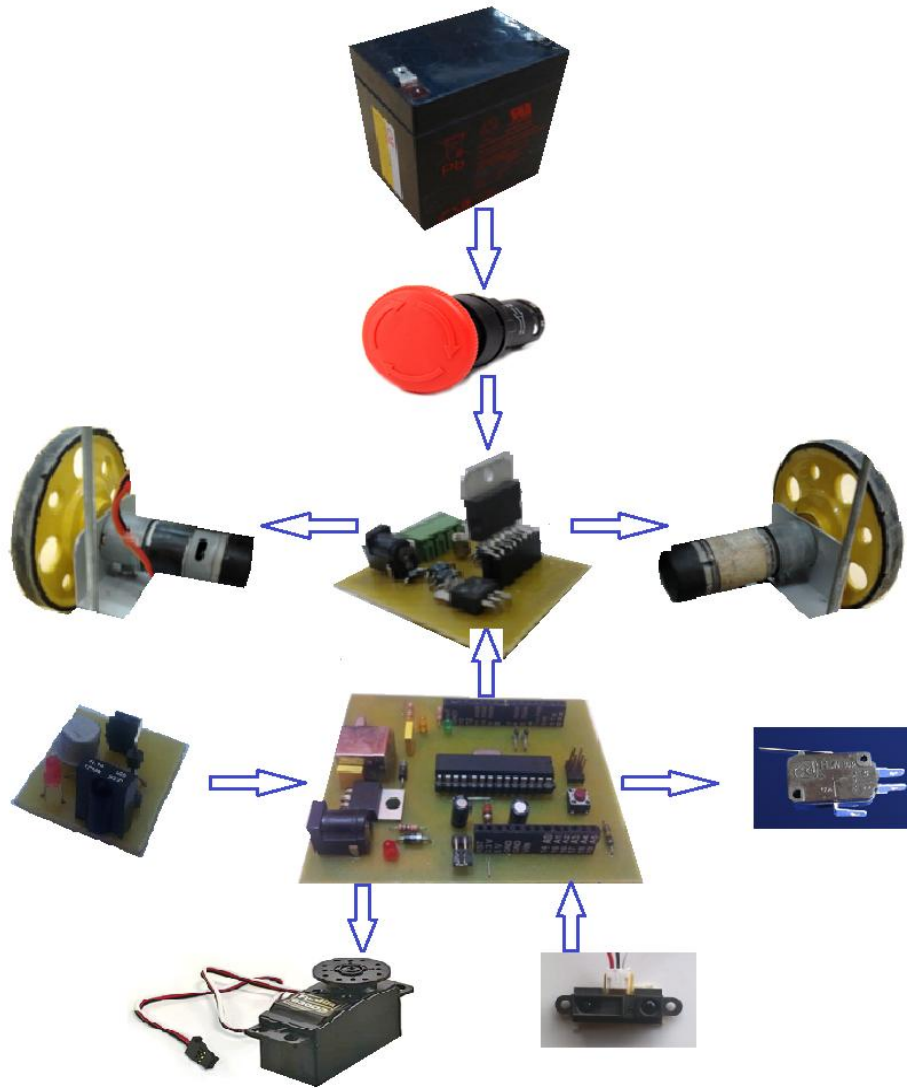


Figure 4.7 : La communication des matériels

4.4.2 La table des essais (l'aire de jeu)

L'aire de jeu est une table rectangulaire de 300cm de longueur et de 200cm de largeur, avec des bordures sur ces côtés [15]. Cette table permet au robot de déplacer librement.



Figure 4.8 : La table des essais

4.4.3 Le servomoteur

Le terme servo-système désigne généralement un système comprenant tout les éléments nécessaires lui permettent de générer la réponse désirée à une commande externe [16].

Un servomoteur est constitué d'un moteur CC, et de toute l'électronique réalisant une boucle fermée pour un control adéquat de l'angle de rotation de l'axe du moteur.

Nous avons utilisé ce servomoteur pour actionner le bras dès que le robot arrive à la balise.



Figure 4.9 : Le servomoteur

Le signal de commande du servomoteur est donné sous forme d'impulsion de largeur variable correspondant à l'angle de rotation désirée. Afin de maintenir une position donnée le signal d'entrée doit être périodique, d'une fréquence de 50Khz. La valeur maximale de l'angle de rotation peut variée en fonction du modèle du servo utilisé, mais est généralement de $\pm 90^\circ$.

4.4.4 Organigramme des modules Microswitchs

Pour commander notre robot ; et afin d'éviter les obstacles rencontrés sur son chemin, on a programmé les Microswitchs trouvés sur le robot selon l'organigramme suivant :

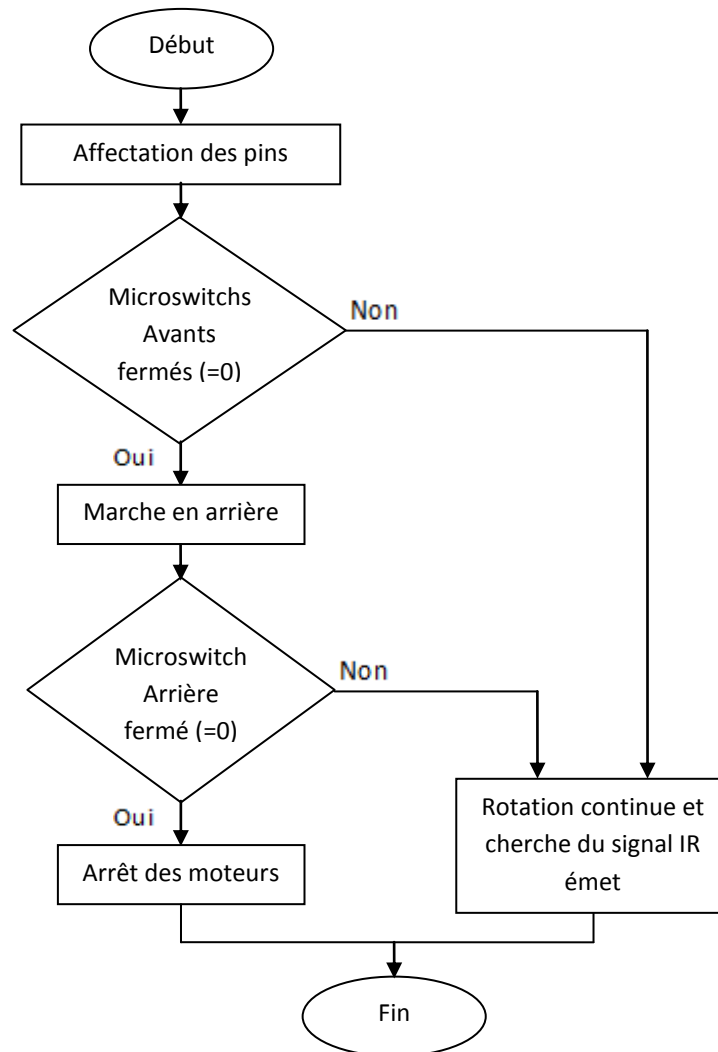


Figure 4.10 : L'organigramme des Microswitchs

4.4.5 Organigramme final de notre stratégie

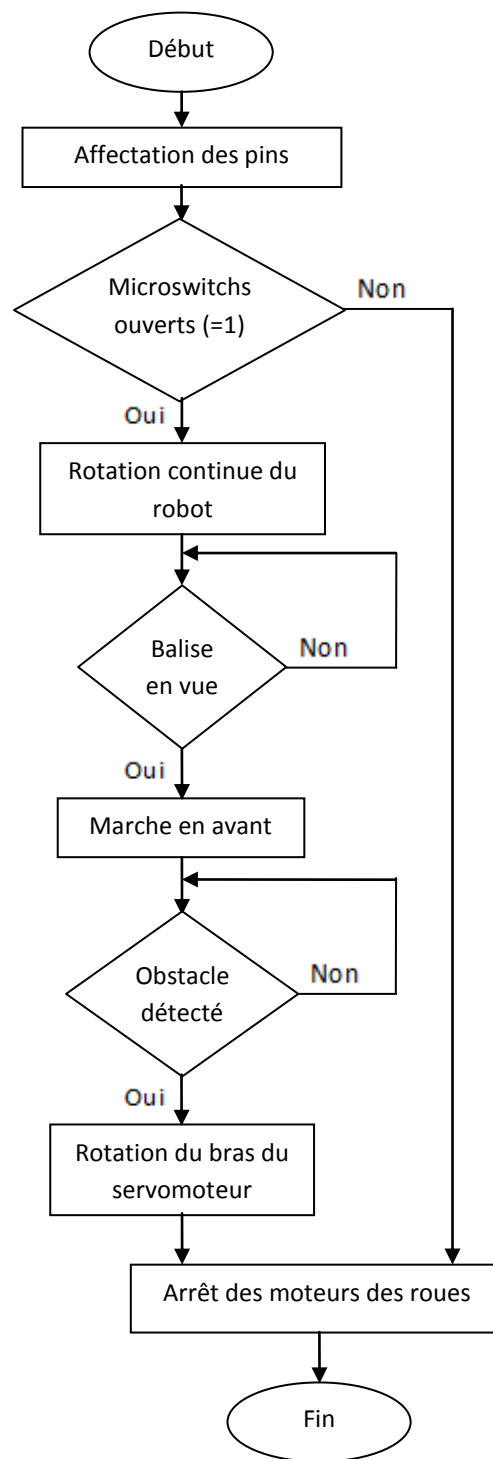


Figure 4.11 : L'organigramme d'orientation du robot

4.4.6 L'orientation du robot vers les balises

Après la réalisation de notre système et la réception des signaux, le robot s'oriente vers la zone désirée. Les figures suivantes montrent la trajectoire et le déplacement de notre robot sur table :

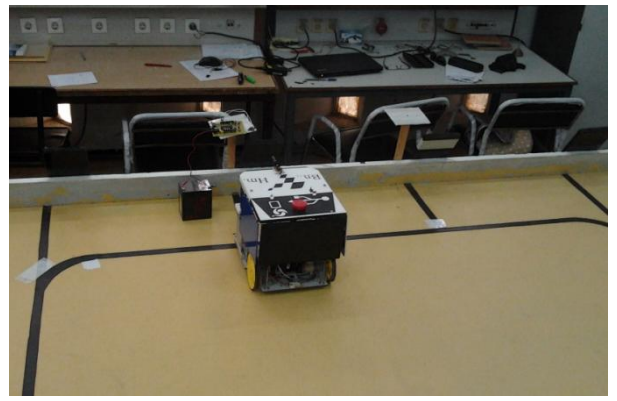
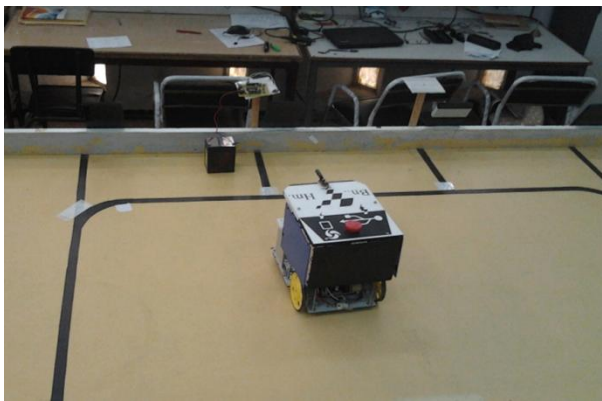
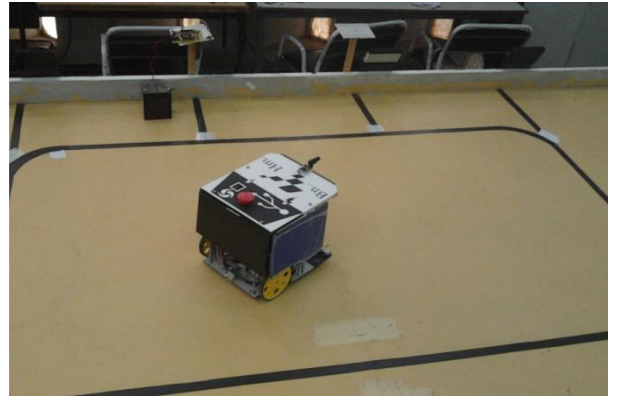
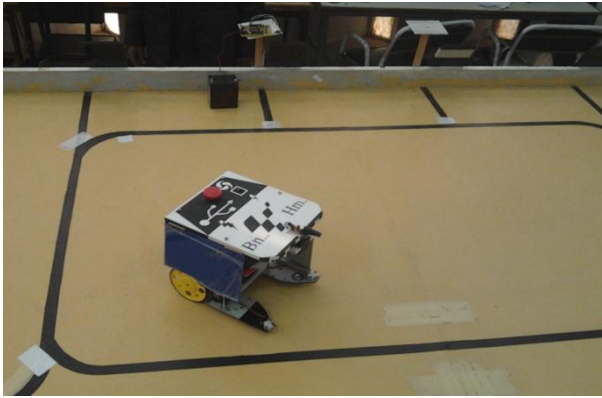
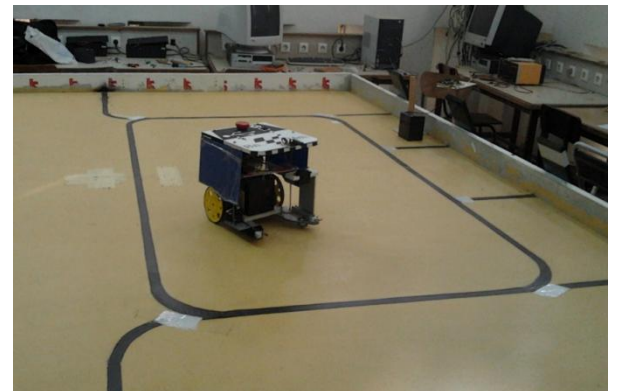
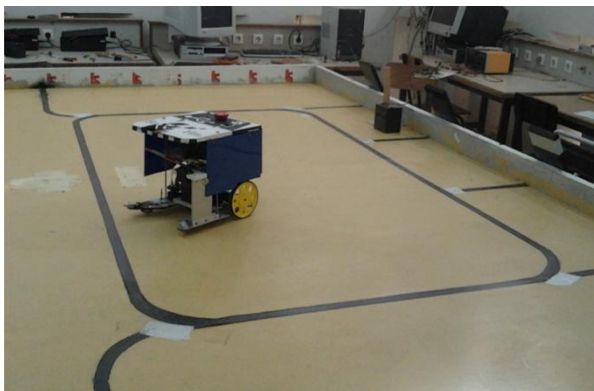


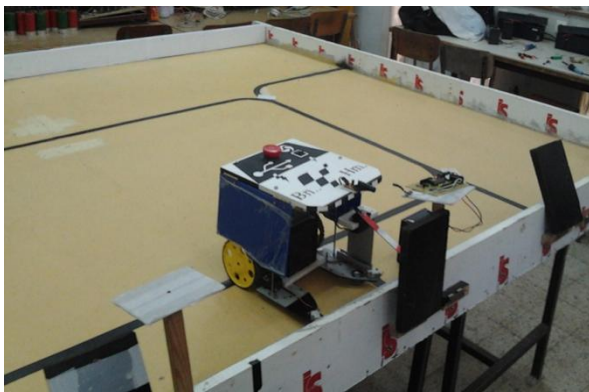
Figure 4.12 : La rotation du robot et l'avancement vers la balise détectée



Le robot tourne sur lui-même en attendant la réception du signal



Le robot capte du signal IR, il corrige sa direction et avance vers la balise émettrice



Le robot ouvre le bras manipulateur à l'aide du télémètre IR, et voilà le cadeau déballé. *En.*

Figure 4.13 : Les résultats obtenus des différentes expériences

4.4 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté les résultats obtenus de la position et le déplacement de notre robot pendant les essais. Afin d'assurer le bon fonctionnement des algorithmes, plusieurs conditions doivent être satisfaisantes tel que les moteurs qui ont des couples importants, et la fiabilité des capteurs utilisés.

On a considéré aussi la procédure de détection d'obstacles à fin de trouver un chemin sans collisions qui permet au robot d'atteindre son objectif.

conclusion générale



Conclusion générale

L'objectif de ce travail était de réaliser un robot mobile et lui apporter d'un système de balise pour la navigation du ce robot. Afin de trouver une méthode générale permettant d'amener le robot à une configuration donnée, plusieurs solutions qui régissent le déplacement du robot ont été proposées pour la navigation. Nous avons été amenés à développer et implémenter un système basé sur le principe d'un émetteur récepteur infrarouge.

Dans le plan théorique l'implémentation de l'algorithme apparait simple mais ce n'est pas le cas, toujours il existe plusieurs problème apparaissent surtout l'hors de implémentation de l'algorithme sur une plateforme réelle. On peut citer quelques problèmes tels que la vitesse des moteurs et son rôle dans le déplacement du robot, la bonne réception des données à travers l'influence du signal émet.

Malgré tous les problèmes cités précédemment, et à travers les résultats obtenus et compte tenu des moyens dont nous disposons, nous pouvons estimer que l'objectif qui nous a été assigné a été atteint, et que notre algorithme donne des bons résultats de réception, et de commande de vitesses contrôlées par des signaux PWM.

La particularité de ce projet réside dans le fait qu'il nous a permet de toucher à différents domaines, à savoir la mécanique, l'électronique et la programmation, ce qui fait s'enrichir nos connaissances et agrandir notre expérience pratique.

On peut améliorer ce système dans le futur, pour balayer des scènes entières. On peut aussi calculer la position et la distance entre le robot et les balises, en progressant de la qualité des données sensorielles fournies par notre système. On peut aussi ajouter l'asservissement dans le contrôle des moteurs, réalisé par une carte électronique qui permet plus de précision.

Annexes

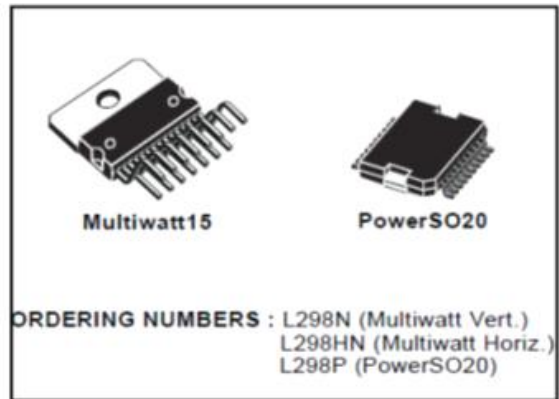


DUAL FULL-BRIDGE DRIVER

- OPERATING SUPPLY VOLTAGE UP TO 46 V
- TOTAL DC CURRENT UP TO 4 A
- LOW SATURATION VOLTAGE
- OVERTEMPERATURE PROTECTION
- LOGICAL "0" INPUT VOLTAGE UP TO 1.5 V (HIGH NOISE IMMUNITY)

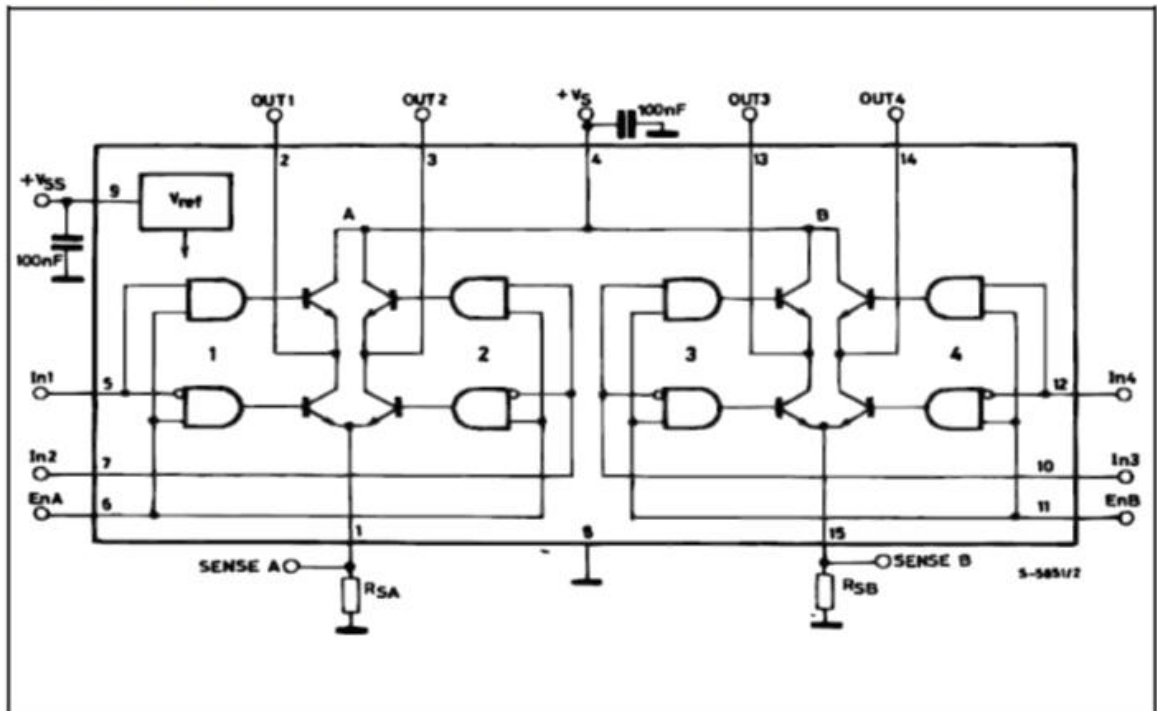
DESCRIPTION

The L298 is an integrated monolithic circuit in a 15-lead Multiwatt and PowerSO20 packages. It is a high voltage, high current dual full-bridge driver designed to accept standard TTL logic levels and drive inductive loads such as relays, solenoids, DC and stepping motors. Two enable inputs are provided to enable or disable the device independently of the input signals. The emitters of the lower transistors of each bridge are connected together and the corresponding external terminal can be used for the con-



nection of an external sensing resistor. An additional supply input is provided so that the logic works at a lower voltage.

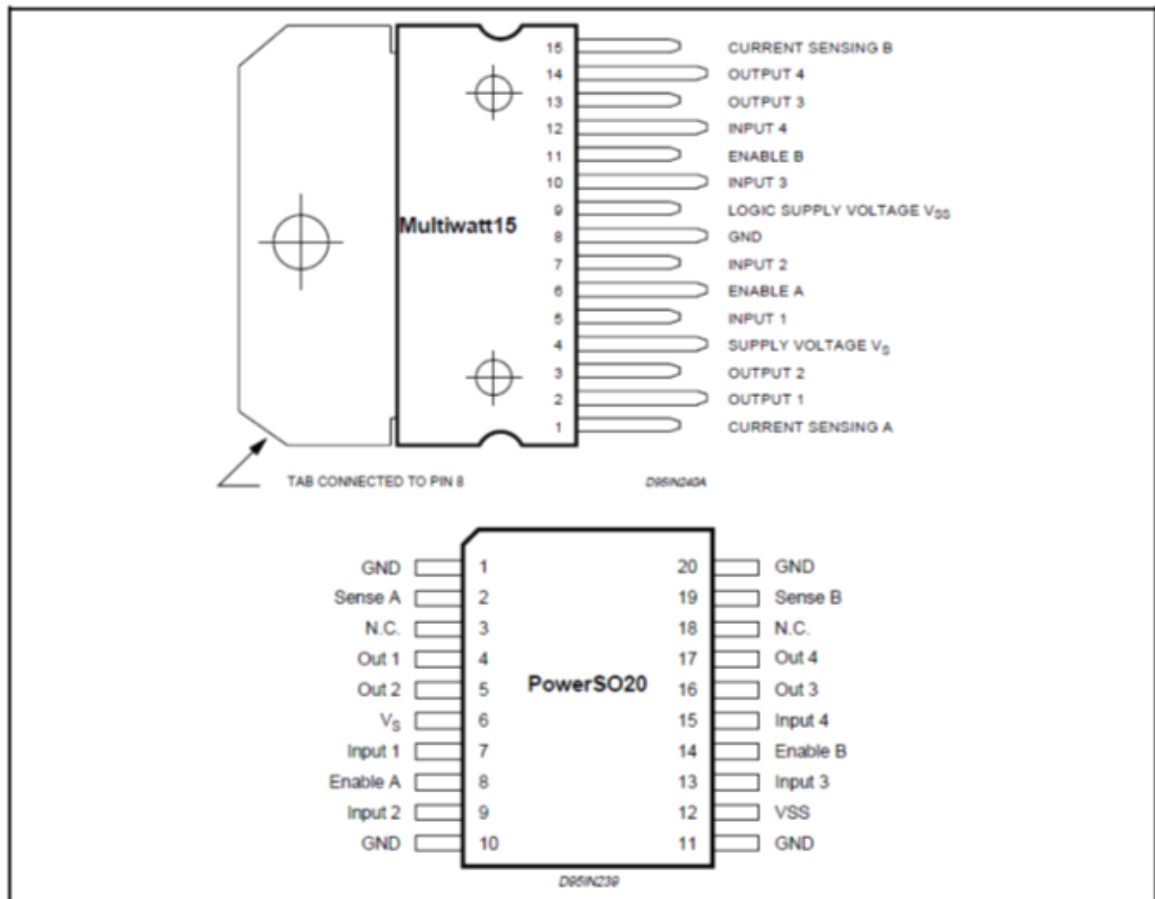
BLOCK DIAGRAM



ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Symbol	Parameter	Value	Unit
V_S	Power Supply	50	V
V_{SS}	Logic Supply Voltage	7	V
V_i, V_{en}	Input and Enable Voltage	-0.3 to 7	V
I_o	Peak Output Current (each Channel)		
	- Non Repetitive ($t = 100\mu s$)	3	A
	- Repetitive (80% on -20% off; $t_{on} = 10ms$)	2.5	A
	-DC Operation	2	A
V_{sens}	Sensing Voltage	-1 to 2.3	V
P_{tot}	Total Power Dissipation ($T_{case} = 75^\circ C$)	25	W
T_{op}	Junction Operating Temperature	-25 to 130	$^\circ C$
T_{stg}, T_j	Storage and Junction Temperature	-40 to 150	$^\circ C$

PIN CONNECTIONS (top view)



THERMAL DATA

Symbol	Parameter		PowerSO20	Multiwatt15	Unit
$R_{th-j-case}$	Thermal Resistance Junction-case	Max.	-	3	$^\circ C/W$
$R_{th-j-amb}$	Thermal Resistance Junction-ambient	Max.	13 (*)	35	$^\circ C/W$

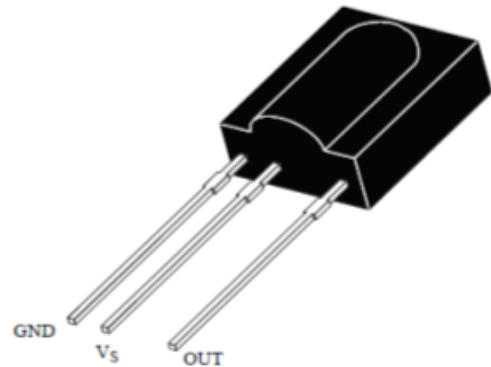
(*) Mounted on aluminum substrate



Photo Modules for PCM Remote Control Systems

Available types for different carrier frequencies

Type	f ₀	Type	f ₀
TFMS 5300	30 kHz	TFMS 5330	33 kHz
TFMS 5360	36 kHz	TFMS 5370	36.7 kHz
TFMS 5380	38 kHz	TFMS 5400	40 kHz
TFMS 5560	56 kHz		



94 8691

Description

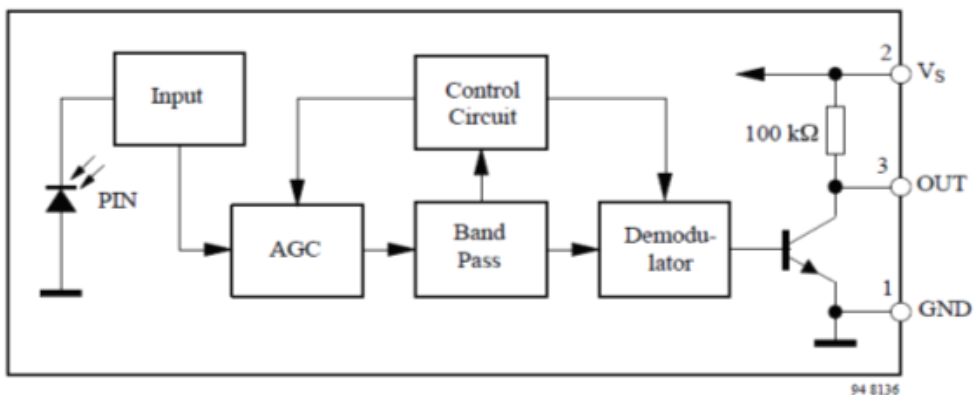
The TFMS 5..0 – series are miniaturized receivers for infrared remote control systems. PIN diode and preamplifier are assembled on lead frame, the epoxy package is designed as IR filter.

The demodulated output signal can directly be decoded by a microprocessor. The main benefit is the reliable function even in disturbed ambient and the protection against uncontrolled output pulses.

Features

- Photo detector and preamplifier in one package
- Output active low (active high modules: TFMS 5..9)
- Internal filter for PCM frequency
- High immunity against ambient light
- Improved shielding against electric field disturbance
- 5 Volt supply voltage, low power consumption
- TTL and CMOS compatibility
- Continuous transmission possible ($t_{pi}/T \leq 0.4$)

Block Diagram



TFMS 5..0

Absolute Maximum Ratings

$T_{amb} = 25^{\circ}\text{C}$

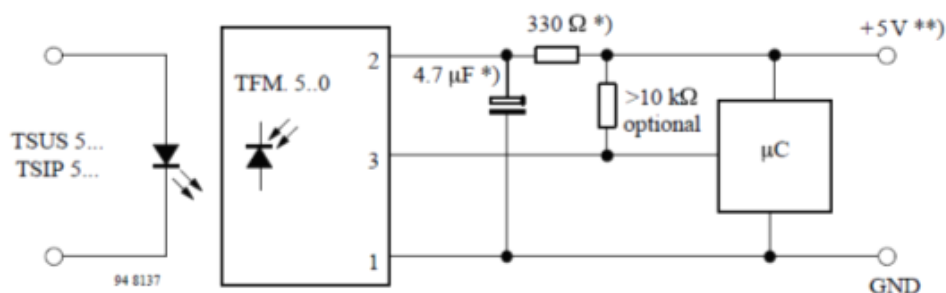
Parameter	Test Conditions	Symbol	Value	Unit
Supply Voltage	(Pin 2)	V_S	-0.3...6.0	V
Supply Current	(Pin 2)	I_S	5	mA
Output Voltage	(Pin 3)	V_O	-0.3...6.0	V
Output Current	(Pin 3)	I_O	5	mA
Junction Temperature		T_j	100	$^{\circ}\text{C}$
Storage Temperature Range		T_{stg}	-25...+85	$^{\circ}\text{C}$
Operating Temperature Range		T_{amb}	-25...+85	$^{\circ}\text{C}$
Power Consumption	($T_{amb} \leq 85^{\circ}\text{C}$)	P_{tot}	50	mW
Soldering Temperature	$t \leq 10\text{ s}$, 1 mm from case	T_{sd}	260	$^{\circ}\text{C}$

Basic Characteristics

$T_{amb} = 25^{\circ}\text{C}$

Parameter	Test Conditions	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
Supply Current (Pin 2)	$V_S = 5\text{ V}$, $E_v = 0$	I_{SD}	0.4	0.5	0.8	mA
	$V_S = 5\text{ V}$, $E_v = 40\text{ klx}$, sunlight	I_{SH}		1.0		mA
Transmission Distance	$E_v = 0$, test signal see fig.7, IR diode TSIP5201, $I_F = 1.5\text{ A}$	d		35		m
Output Voltage Low (Pin 3)	$I_{OSL} = 0.5\text{ mA}$, $E_e = 0.7\text{ mW/m}^2$, $f = f_o$, $t_p/T = 0.4$	V_{OSL}			250	mV
Irradiance (30 – 40 kHz)	Pulse width tolerance: $t_{po} = t_{pi} \pm 160\mu\text{s}$, test signal (see fig.7)	$E_e\text{ min}$		0.3	0.5	mW/m^2
Irradiance (56 kHz)	Pulse width tolerance: $t_{po} = t_{pi} \pm 160\mu\text{s}$, test signal (see fig.7)	$E_e\text{ min}$		0.4	0.7	mW/m^2
Irradiance		$E_e\text{ max}$	20			W/m^2
Directivity	Angle of half transmission distance	$\phi_{1/2}$		± 55		deg

Application Circuit

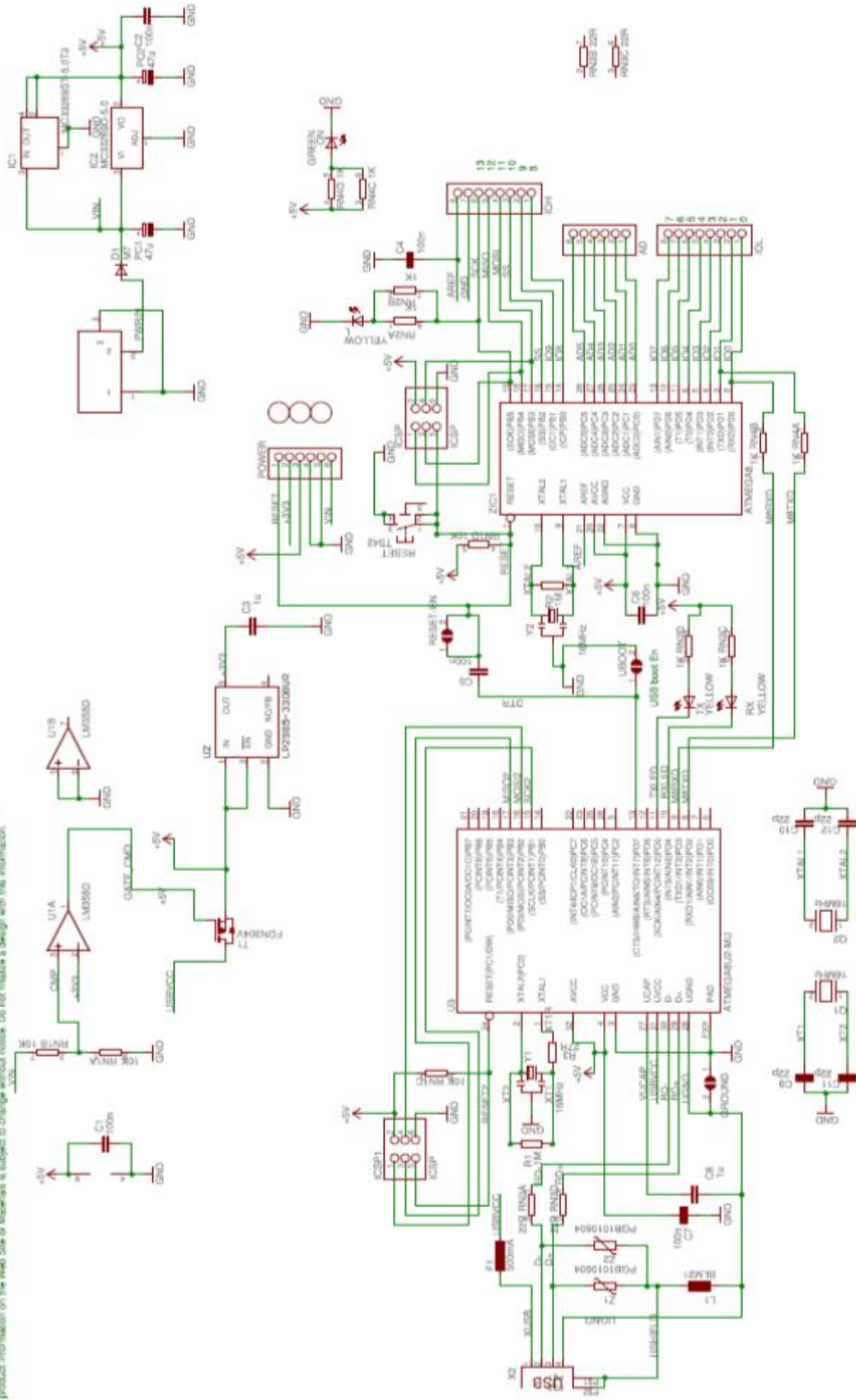


*) only necessary to suppress power supply disturbances
 **) tolerated supply voltage range : $4.5\text{ V} < V_S < 5.5\text{ V}$

Annexe 4 : Carte de commande Aduino

Arduino™ UNO Reference Design

Reference Designs ARE PROVIDED "AS IS" AND "WITH ALL FAULTS". ARDUINO DISCLAIMS ALL OTHER WARRANTIES, EXPRESS OR IMPLIED, REGARDING PRODUCTS, INCLUDING BUT NOT LIMITED TO, ANY IMPLIED WARRANTIES OF MERCHANTABILITY OR FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE. Arduino may make changes to specifications and product descriptions at any time, without notice. The Customer must use the Reference Design as a guide only and is responsible for conducting their own testing and validation. Arduino is not responsible for any damage or loss resulting from the use of the Reference Design. The product information on the Web Site or Materials is subject to change without notice. Do not rely on this information.



Bibliographie



Bibliographie

- [1] David Daney : cours de robotique fondamentale, Projet Coprin INRIA Sophia Antipolis.
- [2] David FILLIAT : Robotique Mobile, École Nationale Supérieure de Techniques Avancées ParisTech.
- [3] SID Abderrahmane et KECHOUANE Yakhlef : Mémoire de Projet de Fin d'Études pour l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état en Électronique, Développement d'une stratégie de navigation d'un robot mobile dans un environnement dynamique, Université SAAD DAHLAB de BLIDA, 2011-2012.
- [4] Cyril DROCOURT : Localisation et modélisation de l'environnement d'un robot mobile par coopération de deux capteurs omnidirectionnels, Université de Technologie de Compiègne, février 2002.
- [5] Abdessamed SAID : Développement d'un planificateur réactif de trajectoire intégrant un modèle de modalisation dynamique de l'environnement, Blida-Algerie, 2006.
- [6] O.Truillier and J.A. Meyer : Animat navigation models and strategies in animals, AI communication, V10, 79-92, IOS Press Amsterdam, The Netherlands, 1997.
- [7] David FILLIAT, Robotique mobile, Les différents types de navigation, Paris-France, 2011
- [8] Omar AIT AIDIER : localisation référencée, modèle d'un robot mobile d'intérieur, D'EVRY-VAL D'ESSONNE, France, 12, 2002.
- [9] Nicolas MORETTE : Contribution à la Navigation de robots mobiles : approche par modèle direct et commande prédictive, université d'Orléans, Décembre 2009.

Sites internet

- [10] <http://www.roboticus.org/electronique/56-integrer-des-leds-dans-un-par-pour-faire-un-par-a-leds>
- [11] <http://www. Diode électroluminescente – Wikipédia.fr>
- [12] <http://www.roboticus.org/electronique/20-la-carte-infrarouge-montage-du-recepteur>
- [13] TEMIC Semiconductors, Photo Modules for PCM Remote Control Systems, datasheet.
- [14] <http://www.arduino.cc/>
- [15] <http://www.eurobot.org/>
- [16] <http://fr.wikipedia.org/wiki/Servomoteur>

