

Sommaire

Résumé	i
Index des figures.....	ii
Index des tableaux	iv
<i>Introduction Générale</i>	1

CHAPITRE I : Généralités sur la robotique et ses accessoires

I.1	Introduction	3
I.2	Historique de l'évolution de la robotique	4
I.3	Origine des termes.....	5
I.4	Types de robot	6
I.5	Caractéristiques d'un robot	7
I.6	Robots Mobiles.....	8
I.6.1	Introduction.....	8
I.6.2	Architecture des robots mobiles	8
I.7	Classification des Robots Mobiles	14
I.7.1	Classification selon le degré d'autonomie.....	14
I.7.2	Classification selon le type de locomotion	15
I.7.3	Classification selon le domaine d'application.....	19
I.7.4	Classification selon la motricité et l'énergie	20
I.8	Systèmes de perception en robotique mobile	20
I.9	Capteurs.....	21
I.9.1	Capteur proprioceptifs	22
I.9.2	Télémètres.....	22
I.9.3	Télémètre a laser.....	24
I.9.4	Caméras	24
I.10	Conclusion.....	25

CHAPITRE II: Moteur à courant continu

II.1	Introduction	26
II.1.1	Moteurs à courant continu.....	26
II.1.2	Constitution d'un moteur à courant continu	27

II.1.3	Principe de fonctionnement.....	29
II.1.4	Force contre électromotrice.....	30
II.1.5	Puissance électromagnétique.....	31
II.1.6	Bilan énergétique d'un moteur cc	31
II.1.7	Type d'excitation d'un moteur à courant continu	32
II.1.8	Avantage des moteurs à courant continu.....	33
II.2	Circuit L293D.....	33
II.3	Variation de vitesse	35
II.4	Signale PWM	35
II.5	Encodeurs pour la robotique.....	36
II.6	Asservissement.....	37
II.7	Conclusion.....	38

CHAPITRE III: Microcontrôleur ATMega328

III.1	Introduction	39
III.2	Caractéristique principale d'un microcontrôleur	40
III.3	Différentes Familles de microcontrôleurs	40
III.4	Microcontrôleur Arduino	40
III.4.1	Différentes gammes Arduino.....	41
III.5	Présentation de la Carte Arduino UNO	42
III.5.1	Avantage de la carte Arduino UNO	43
III.6	Constitution de la carte Arduino UNO	44
III.6.1	Partie matérielle	44
III.6.2	Partie logiciel	48
III.7	Conclusion.....	52

CHAPITRE IV: Simulation et Réalisation

IV.1	Introduction	53
IV.2	Structure de base du robot.....	53
IV.2.1	Actionneurs.....	53
IV.2.2	Carte de commande	57
IV.2.3	Circuit de puissance L293D	60
IV.2.4	Capteurs	62
IV.3	Mesure du Vitesse de rotation	66

IV.4 Composants du robot.....	67
IV.4.1 Le chassis.....	68
IV.4.2 Localisation des composants	68
IV.5 Conclusion.....	69
<i>Bibliographie</i>	72

Résume

RESUME (bilingue)

Notre but dans ce mémoire est l'étude et la réalisation d'un robot mobile à trajectoire programmé avec évitement d'obstacles. Notre robot mobile est basé sur une carte de capteurs émetteur/récepteur (ultrasonique **HC-SR04**) et une carte de commande à base de microcontrôleur ATmega328 (**Arduino Uno**), ainsi qu'un Circuit de puissance L293D (shields Arduino) pour contrôler la direction des drivers de moteurs qui assure le déplacement du robot à travers un mécanisme.

Mots-clés : Robot Mobile, évitement d'obstacles, moteurs, trajectoire programmé.

Abstract

Our goal in this thesis is the study and realization of a mobile robot with programmed trajectory and obstacle avoidance. Our mobile robot is based on a receiver transmitter sensor card (ultrasonic **HC-SR04**) and an control card based on ATmeg328 microcontroller (Arduino Uno), as well as a L293D power circuit for controlling the direction of motor drivers that moves the robot through mechanism.

Keywords : mobile robot, obstacle avoidance, programmed trajectory, motor

ملخص:

الهدف من هذا العمل هو دراسة وإنجاز روبوت متحرك بعجلات على مسار مبرمج مع تجنب العوائق . وذلك باستعمال اجهزة استشعار عن بعد والاعتماد على المعالج الالي و استعمال عاكس الاستطاعة L293D الذي يغذي و يتحكم في دوران المحرك والذي بدوره يحرك الروبوت

الكلمات المفتاحية: روبوت متحرك، تجنب العوائق، مسار مبرمج، المحرك

Index des figures

CHAPITRE I : Généralités sur la robotique et ses accessoires

Figure I.1 Structure d'un robot mobile.....	8
Figure I.2 Parties principales dans un robot	9
Figure I.3 Synoptique sur l'organisation de la sécurité d'un robot mobile	12
Figure I.4 Robot de type uni cycle	15
Figure I.5 Robot de type tricycle	16
Figure I.6 Robot de type voiture.....	16
Figure I.7 Robot de type omnidirectionnel.....	17
Figure I.8 Exemples de robots mobiles à chenilles	18
Figure I.9 Exemples des robots marcheurs.....	18
Figure I.10 Exemple d'un robot rampant	19
Figure I.11 Chaîne fonctionnelle d'un système de navigation.	21
Figure I.12 Principe de télémètre a ultrasons et exemple de télémètre réel.	22
Figure I.13 Principe de télémètre infrarouge a triangulation et exemple de télémètre réel	23
Figure I.14 Principe de fonctionnement d'un télémètre	24

CHAPITRE II: Moteur à courant continu

Figure II.1 Fonctionnement de moteur à courant continu	27
Figure II.2 Description de moteur à courant continu.....	27
Figure II.3 L'inducteur de la machine à courant continu	28
Figure II.4 Le rotor de la machine à courant continu	28
Figure II.5 Le dispositif collecteur / balais.....	29
Figure II.6 Principe de fonctionnement d'un moteur à courant continu	29
Figure II.7 Bilan énergétique d'un moteur cc.....	31
Figure II.8 Moteur à excitation indéendante	32
Figure II.9 Moteur à excitation série	32
Figure II.10 Moteurs à excitation composée	33
Figure II.11 Photo réel de L293D.....	34
Figure II.12 Circuit de L293D.....	34
Figure II.13 Signale PWM.....	36
Figure II.14 Principe de fonctionnement basique de l'encodeur.....	37
Figure II.15 Synoptique général d'un système asservi	37

Figure II.16 Asservissement PID.....	38
CHAPITRE III: Microcontrôleur ATmega328	
Figure III.1 Carte Arduino uno.....	42
Figure III.2 Microcontrôleur ATmega328	44
Figure III.3 Architecture Interne du Microcontrôleur ATmega328	47
Figure III.4 Constitution de la carte Arduino UNO.....	49
Figure III.5 Etapes de téléchargement du code	51
Figure III.6 Interface IDE Arduino.....	51
CHAPITRE IV: Simulation et Réalisation	
Figure IV.1 Structure générale du robot.....	54
Figure IV.2 Kit de Roue avec Moteur à courant	55
Figure IV.3 Connecter un moteur cc avec la carte Arduino uno.....	55
Figure IV.4 Organigramme de commande du moteur CC avec Arduino.....	56
Figure IV.5 Variateur de vitesse d'un robot mobile.....	58
Figure IV.6 : Deux signaux PWM pour $\alpha=75\%$	58
Figure IV.7 Deux signaux PWM pour $\alpha=50\%$	59
Figure IV.8 Deux signaux PWM pour $\alpha=25\%$	59
Figure IV.9 Signal PWM2 ($\alpha=75\%$) est inverse du signal PWM ($\alpha=25\%$).....	60
Figure IV.10 Shield motor L293D	60
figure IV.11 Organigramme du programme d'un variateur de vitesse.....	61
Figure IV.12 Test du capteur ultrason HC-SR04	64
Figure IV.13 Schéma représente la mesure de la distance	64
Figure IV.14 Champ visuelle du capture ultrason.....	65
Figure IV.15 Organigramme de détection d'obstacle	65
Figure IV.16 Organigramme d'évitement d'obstacle.....	66
Figure IV.17 Encodeur de vitesse: Representation schématique	66
Figure IV.18 Encodeur de vitesse.....	67
Figure IV.19 Module compteur de vitesse EC03	67
Figure IV.20 Dimension du châssis.....	68
Figure IV.21 Emplacement des composants est leur connexion.....	68

Index des tableaux

Tableau I.1 Les avantages et les inconvénients des différents types de robots à roues.....	17
Tableau IV.1 Résultats du capteur HC-SR04.....	63

Introduction Générale

La robotique permet d'aider l'homme dans les tâches difficiles, répétitives ou Pénibles. De plus elle constitue le rêve de substituer la machine à l'homme dans ces tâches.

Les facultés de perception et de raisonnement des robots progressent chaque jour actuellement et plus encore dans l'avenir, ils sont appelés à jouer un rôle de plus en plus important dans notre vie.

La robotique comporte deux grands pôles d'intérêt: la robotique de manipulation (robotique industrielle) et la robotique mobile. Un des problèmes majeurs de la robotique mobile est la planification de mouvement. Autour de ce problème de planification de mouvement de nombreuses études ont été réalisées dans le but de développer des méthodes générales pour guider les robots.

Pour un robot mobile, avec un programmé d'évitement d'obstacle, notre but dans ce mémoire,.....

Notre but dans ce mémoire est l'étude et la réalisation d'un robot mobile avec évitement d'obstacle et trajectoire programmé, à l'aide d'un capteur ultrasonique pour détecter les obstacles

Notre robot mobile est basé sur une carte de capteurs émetteur/récepteur (ultrasonique **HC-SR04**) et une carte de commande à base de microcontrôleur ATmega328 (**Arduino Uno**), ainsi qu'un Circuit de puissance L293D (shields Arduino) pour contrôler la direction des drivers de moteurs qui assure le déplacement du robot à travers un mécanisme.

Le plan du mémoire est comme suit :

Le premier chapitre présente une introduction sur la robotique : définitions, classification, historique ...etc. et les constituants d'un robot mobile.

Le deuxième chapitre présente les types des moteurs, la construction, les applications. Il permet de rappeler les différents éléments qui constituent une machine à courant continu.

Le troisième chapitre est une étude approfondie sur le microcontrôleur ATmega328 (**Arduino Uno**) utilisé pour commander notre robot.

Le quatrième chapitre, présente les différentes parties (mécanique et électronique) du robot est consacré aussi aux logiciels de simulation utilisés pour la programmation. Ainsi il présente les organigrammes utilisés par le microcontrôleur pour gérer les différents circuits.

Enfin, nous terminons notre mémoire par une conclusion qui présente le bilan de ce travail et les perspectives envisagés et une bibliographie.

Chapitre I

Généralités sur la robotique et ses accessoires

I.1 Introduction

Les robots aujourd'hui ont un impact considérable sur de nombreux aspects de la vie moderne, de la fabrication industrielle aux soins de santé, le transport et l'exploration de l'espace et le profond de la mer. Demain, des robots seront aussi omniprésents et personnelle comme les ordinateurs personnels.

Le rêve de créer des machines qui sont qualifiés et intelligentes a fait partie de l'humanité depuis le début du temps. Ce rêve est en train de devenir une partie de la réalité de notre monde.

Quand les chercheurs ont commencé à réfléchir sur la conception de robots, on appelait « robotique » la science des robots et/ou l'art de concevoir et fabriquer des robots.

Les succès des robots industriels, qui travaillaient initialement en poste isolé et qui ont été intégrés à des chaînes de production comme des machines parmi d'autres, ont conduit le public à élargir le sens du terme « robotique » et à le rendre désormais presque synonyme d'automatisation.

Le correspondant de robotique devrait naturellement être « automatique » mais ce n'est pas le cas dans le langage courant. Pour compenser ce hiatus se sont créés le mot « robotisation » et le verbe

« robotiser » pour désigner la plupart des automatisations et leur mise en œuvre, même en l'absence de véritables robots.

Dans certains champs d'applications, des mots calqués sur robotique sont apparus. Il en est ainsi de « domotique » qui désigne tout ce qui concerne l'automatisation dans l'habitat ou « productique » pour tout ce qui a trait aux moyens de production.

Aujourd'hui, la robotique est donc l'art d'automatiser des systèmes plus ou moins complexes mais en s'appuyant sur le savoir-faire acquis par les études sur la conception de robots, savoir-faire issu des développements d'une branche de l'automatique générale.

En effet, on constate a posteriori que la structure d'une machine ou d'un système n'a pas besoin d'adopter la forme physique de ce qu'on appelle généralement robot pour que son contrôle adopte les mêmes composants que ces machines, à savoir : des capteurs internes pour la régulation, des capteurs externes pour connaître l'environnement, des moyens d'action motorisés, ainsi qu'une informatique de commande pouvant faire appel à la programmation et aux techniques de l'intelligence artificielle.

Tous ces composants et leurs actions peuvent être distribués dans l'espace au lieu d'être rassemblés ou de provenir d'une seule structure. Par ailleurs, une collaboration de divers ensembles est possible aboutissant donc à un système robotisé.

I.2 Historique de l'évolution de la robotique

La notion de robot, ou d'automate, remonte à l'époque médiévale. Même s'il n'existait pas de terme pour décrire ce que nous appelons aujourd'hui des robots, les gens de cette époque ont tout de même imaginé des mécanismes capables d'exécuter des tâches humaines.

Les automates, ces machines aux formes humaines animées par un mécanisme intérieur, ont été créés pour impressionner les paysans qui fréquentaient les églises et leur inculquer la notion d'«être» suprême.

Le jacquemart crée l'illusion du mouvement automatique (non assisté). Les jacquemarts étaient des personnages mécaniques capables de marquer le temps en frappant sur une cloche avec leur hache. Cette technologie étant à peu près inconnue au XIII^e siècle, on imagine facilement l'émerveillement des gens face à de tels automates.

Au XVIII^e siècle, les automates miniatures sont devenus des jouets populaires chez les gens très riches. Ces figurines étaient à l'image d'humains ou de petits animaux et imitaient leurs mouvements.

La jolie musicienne que a été fabriquée vers 1890. Elle peut tourner la tête d'un côté puis de l'autre, jouer de son instrument tout en battant la mesure avec le pied.

Une multitude de récits littéraires témoignent de la fascination qu'exerce sur nous la création d'une forme de vie artificielle.

En 1818, Mary Shelly a écrit Frankenstein, un récit qui relate la fabrication d'une créature d'apparence humaine. Le robot imaginé 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 de boulons et d'écrous. Il 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.

En 1921, Karel Capek, un dramaturge tchèque, a imaginé un personnage créé artificiellement et doté d'intelligence, auquel il a donné le nom de « robot ». Ce mot, qui signifie « travail forcé » en tchèque, est graduellement entré tel quel dans la langue française. Même s'il a été créé cent ans après la publication du roman Frankenstein de Shelly, le robot de Capek a lui aussi des formes humaines. Ce robot semble beaucoup plus rigide et mécanique que la dame lui faisant face.

Même si le concept de robot trouve son origine dans une époque très lointaine, il a fallu attendre les années 1940 et l'arrivée des ordinateurs pour que les robots des temps modernes fassent leur apparition.

Le terme « robotique » se rapporte à l'étude et à l'utilisation des robots. Il remonte à 1941. Il a tout d'abord été utilisé par le chercheur et écrivain Isaac Asimov. C'est dans un chapitre intitulé Cycle fermé qu'il a proposé les « lois de la robotique » suivantes :

- **Première loi** : Un robot ne peut porter atteinte à un être humain ni, restant passif, laisser cet être humain exposé au danger.
- **Deuxième loi** : Un robot doit obéir aux ordres donnés par les êtres humains, sauf si de tels ordres sont en contradiction avec la première loi.
- **Troisième loi** : Un robot doit protéger son existence dans la mesure où cette protection n'est pas en contradiction avec la première ou la deuxième loi. [1]

I.3 Origine des termes

Robot a été utilisé pour la première fois en 1921 par Karel Capek dans sa pièce R.U.R. (Rossums Universel Robots)

Il provient du tchèque "Robota" qui signifie corvée, travail obligatoire

Le terme robotique a été employé pour la première fois par Asimov en 1941.

Le Petit Larousse définit un robot comme étant un appareil automatique capable de manipuler des objets, ou d'exécuter des opérations selon un programme fixe ou modifiable. En fait, l'image que chacun se fait d'un robot est généralement vague, souvent un robot est défini comme un manipulateur automatique à cycles programmables. Pour « mériter » le nom de robot, un système doit posséder une certaine flexibilité, caractérisée par les propriétés suivantes :

- La versatilité : Un robot doit avoir la capacité de pouvoir exécuter une variété de tâches, ou la même tâche de différente manière
- L'auto- adaptative : Un robot doit pouvoir s'adapter à un environnement changeant au cours de l'exécution de ses tâches.

L'Association Française de Normalisation (A.F.N.O.R.) définit un robot comme étant un système mécanique de type manipulateur commandé en position, reprogrammable, polyvalent (i.e., à usages multiples), à plusieurs degrés de liberté, capable de manipuler des matériaux, des pièces, des outils et des dispositifs spécialisés, au cours de mouvements variables et programmés pour l'exécution d'une variété de tâches. Il a souvent l'apparence d'un, ou plusieurs, bras se terminant par un poignet. Son unité de commande utilise, notamment, un dispositif de mémoire et éventuellement de perception et d'adaptation à l'environnement et aux circonstances. Ces machines polyvalentes sont généralement étudiées pour effectuer la même fonction de façon cyclique et peuvent être adaptées à d'autres fonctions sans modification permanente du matériel. [2]

I.4 Types de robot

On retiendra pour notre part 2 types de robot :

- Les manipulateurs :
 - Les trajectoires sont non quelconques dans l'espace
 - Les positions sont discrètes avec 2 ou 3 valeurs par axe
 - La commande est séquentielle

Les télémanipulateurs : appareils de manipulation à distance (pelle mécanique, pont roulant), apparus vers 1945 aux USA :

- a. Les trajectoires peuvent être quelconques dans l'espace,
 - b. Les trajectoires sont définies de manière instantanée par l'opérateur, généralement à partir d'un pupitre de commande (joystick)
- Les robots mobiles :
 - a. Les trajectoires peuvent être quelconques dans l'espace
 - b. L'exécution est automatique

- c. Les informations extéroceptives peuvent modifier le comportement du robot

Les possibilités sont plus vastes, du fait de leur mobilité. Notamment, ils peuvent être utilisés en zone dangereuse (nucléaire, incendie, sécurité civile, déminage), inaccessible (océanographie, spatial). De tels robots font appel à des capteurs et à des logiciels sophistiqués.

On peut distinguer 2 types de locomotion :

- a. Les robots marcheurs qui imitent la démarche humaine
- b. les robots mobiles qui ressemblent plus à des véhicules.

I.5 Caractéristiques d'un robot

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

- La charge maximum transportable : (de quelques kilos à quelques tonnes), à déterminer dans les conditions les plus défavorables (en élongation maximum).
- Le volume de travail : défini comme l'ensemble des points atteignables par l'organe terminal. Tous les mouvements ne sont pas possibles en tout point du volume de travail. L'espace de travail (reachable workspace), également appelé espace de travail maximal. [3]
- Le positionnement absolu : correspondant à l'erreur entre un point souhaité (réel) défini par une position et une orientation dans l'espace cartésien et le point atteint et calculé via le modèle géométrique inverse du robot. Cette erreur est due au modèle utilisé, à la quantification de la mesure de position, à la flexibilité du système mécanique. En général, l'erreur de positionnement absolu, également appelée précision, est de l'ordre de 1 mm. [3]
- La répétabilité : ce paramètre caractérise la capacité que le robot a à retourner vers un point (position, orientation) donné. La répétabilité correspond à l'erreur maximum de positionnement sur un point prédéfini dans le cas de trajectoires répétitives. En général, la répétabilité est de l'ordre de 0,1 mm. [3]
- La vitesse de déplacement : Vitesse maximum en élongation maximum ou accélération. [4]
- La masse du robot.
- Le coût du robot.
- La maintenance,

I.6 Robots Mobiles

I.6.1 Introduction

Contrairement au robot industriel qui est généralement fixé, le robot mobile est doté de moyens qui lui permettent de se déplacer dans son espace de travail. Suivant son degré d'autonomie ou degré d'intelligence, il peut être doté de moyens de perception et de raisonnement. Certains sont capables, sous contrôle humain réduit, de modéliser leur espace de travail et de planifier un chemin dans un environnement qu'ils ne connaissent pas forcément d'avance.

Actuellement, les robots mobiles les plus sophistiqués sont essentiellement orientés vers des applications dans des environnements variables ou incertains, souvent peuplés d'obstacles, nécessitant une adaptabilité à la tâche. [5]

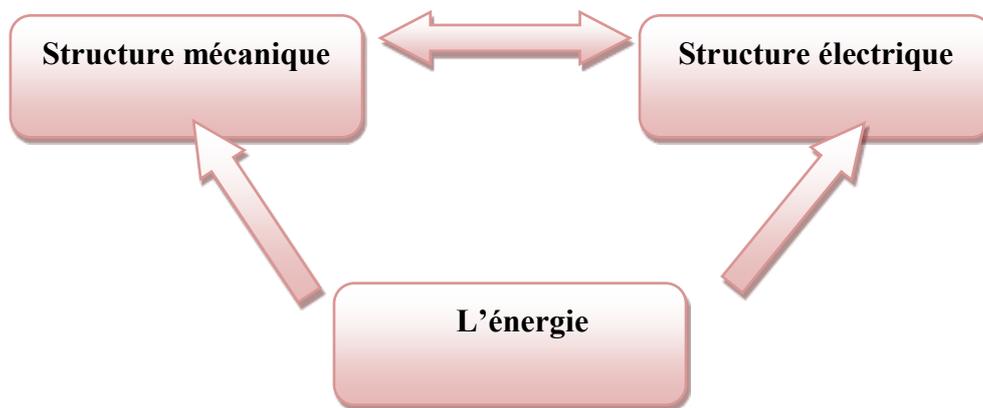


Figure I.1 Structure d'un robot mobile

I.6.2 Architecture des robots mobiles

L'architecture des robots mobiles se compose de quatre parties essentielles:

- La structure mécanique et la motricité.
- Le système de localisation.
- Les organes de sécurité.
- Le système de traitement des informations et gestion de tâches.

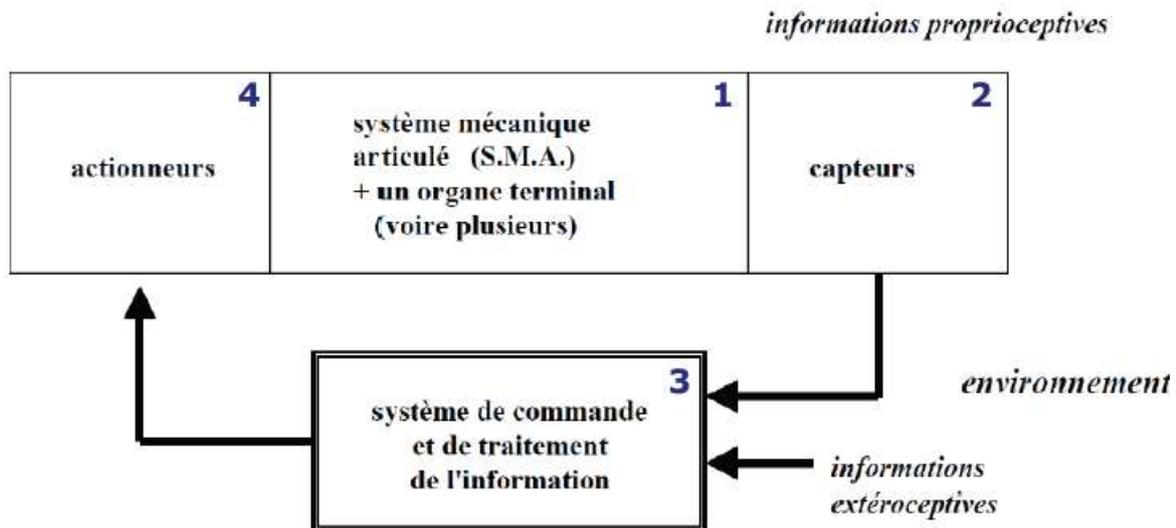


Figure I.2 Parties principales dans un robot

➤ Structure mécanique et la motricité

a. Structure mécanique

La conception de la structure mécanique d'un robot mobile c'est l'emplacement exact de chaque bloc (mécanique et électronique) comme l'emplacement des moteurs, des roues et d'autre système qui va définir les différents mouvements du robot selon le type de ce dernier et la précision de la tâche voulue.

Il existe quatre types de structures mécaniques assurant la motricité:

- ✓ Les robots à roues.
- ✓ Les robots à chenilles.
- ✓ Les robots marcheurs.
- ✓ Les robots rampants

b. Motricité et l'énergie

Les déplacements des robots sont réalisés par des moteurs de types électrique, thermique ou hydraulique.

L'énergie électrique la plus fréquemment employée offre l'avantage d'une commande aisée. Par contre le transport et la génération présentent des difficultés. Plusieurs méthodes sont employées :

- Par batteries qui sont soit rechargées périodiquement de manière automatique ou manuelle, soit par un échange avec d'autres lorsqu'elles sont déchargées.
- Par groupe électrogène embarqué dont l'inconvénient constitue la masse élevée. L'énergie de base est alors thermique.
- Par cordon ombilical qui réduit l'autonomie du robot. L'énergie thermique est essentiellement employée par des véhicules de forte puissance comme énergie de base pour la traction ou pour activer un compresseur hydraulique.

➤ **Système localisation**

Le caractère principal d'un robot mobile est la faculté de se mouvoir d'un point vers un autre. Pour ce faire, il est nécessaire d'avoir la connaissance de sa localisation par rapport à un espace de référence dans lequel sont définis les point source du but

La localisation instantanée est un des points les plus importants et les plus délicats des robots mobiles. Elle permet de définir le positionnement :

- Du mobile dans l'environnement.
- D'élément particulier de l'environnement.

A. La localisation du mobile

La localisation du mobile consiste à définir la position en termes de coordonnées d'un point du mobile à un référentiel de base. Les techniques à employer sont de deux types :

a. Localisation relative

La localisation relative consiste à déterminer la variation des coordonnées de position lors d'un déplacement. L'estimation de la position absolue est le résultat de l'intégration des déplacements élémentaires. L'inconvénient de cette méthode réside dans l'accumulation des erreurs de mesure et de calcul

b. Localisation absolue

Les techniques de localisation absolue assurent la mesure de la position et de l'orientation du mobile à tout instant. Il existe de nombreuses méthodes de localisation, le choix de la technique est dicté par le type de la tâche à réaliser. La méthode des balises est la plus employée. Le principe consiste à

mesurer la distance du mobile aux balises par temps de vol d'une onde (lumineux, électromagnétique ou acoustiques), la position est calculée par triangulation.

B. La localisation de l'environnement

La localisation de l'environnement présente un intérêt sur plusieurs plans :

- L'aide à la navigation pour la détermination de la présence d'obstacles sur une trajectoire prédéfinie.
- La détermination de la localisation du mobile par corrélation entre des caractéristiques de l'environnement et une carte mémorisée.
- Reconnaissance des lieux lors d'un apprentissage.

Pour cela plusieurs techniques sont employées, on cite :

- Les méthodes télémétriques.
- L'analyse d'image.
- Les méthodes de contact direct.

➤ Organes de sécurité

Un robot, selon la tâche qui lui est confiée, peut être amené à travailler au voisinage du personnel, à ce titre, il est obligatoire qu'il soit doté d'organes garantissant la sécurité.

Des capteurs sont disponibles tout autour du mobile afin de détecter un obstacle sur un domaine le plus étendu possible. Deux types de capteurs sont employés :

- les capteurs proximétriques assurant la détection avant collision (ultra-son, hyper fréquence, infrarouge...)
- les capteurs de contact détectant une collision ou un choc avec l'environnement (contact électrique sur pare-chocs, résistance variable, fibre optique...). Ce sont des dispositifs redondants par rapport aux capteurs précédents

Il comporte également un système de vérification permanent de l'état de fonctionnement des autres organes.

Le traitement de la détection s'effectue selon plusieurs cas. Si le capteur à contact est sollicité, le robot s'immobilise soit définitivement soit tant que le contact persiste, ou il effectue un mouvement opposé au contact. Par contre si un proximètre détecte une présence, la stratégie consiste soit à immobiliser le robot en attendant que la personne s'éloigne, soit à ralentir le

mouvement si la personne n'est pas trop proche, soit à choisir un autre chemin qui l'éloigne de la personne.

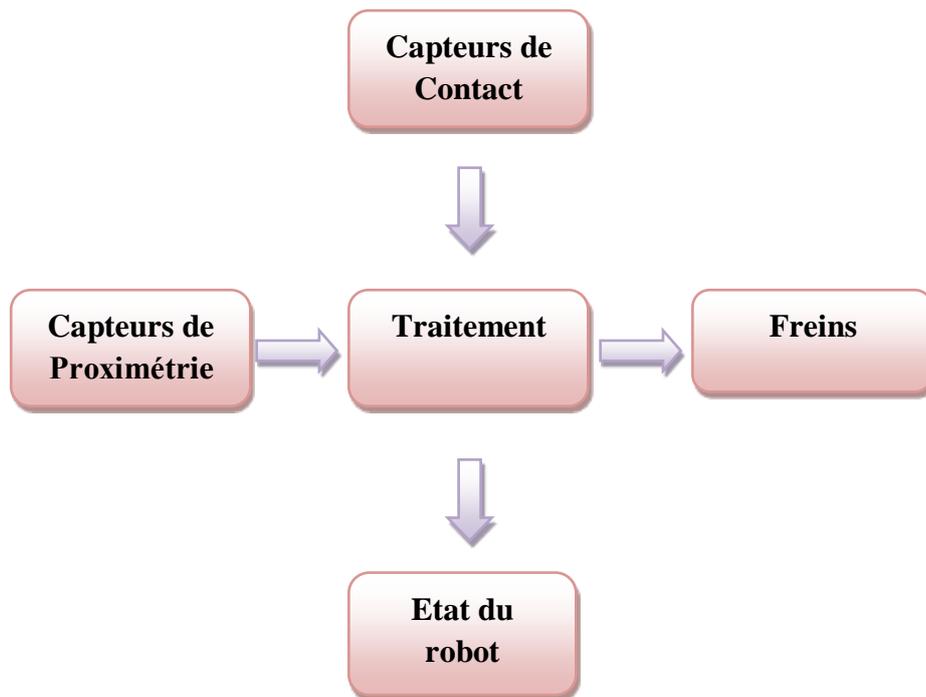


Figure I.3 Synoptique sur l'organisation de la sécurité d'un robot mobile

➤ **Traitement des informations et gestion des tâches**

L'ensemble de traitement des informations et gestion des tâches constitue le module information central qui établit les commandes permettant au mobile de réaliser un déplacement et d'activer les divers organes en accord avec l'objectif. Nous nous limiterons au problème de génération de plan qui consiste à établir la manière dont le robot se déplace par rapport à des connaissances à priori (statiques) ou obtenues en cours d'évolution (dynamiques).

La génération de plus repose sur trois concepts :

- La stratégie de navigation
- La modélisation de l'espace
- La planification.

a. Navigation

La navigation est une étape très importante en robotique mobile. Bien entreprise, elle permet une large autonomie à un robot mobile. Le système de navigation comporte plusieurs modules qui peuvent être traités différemment et parmi lesquels on distingue celui de la localisation et celui de l'évitement d'obstacles. La détection et l'évitement des obstacles est l'étape fondamentale de l'évolution d'un robot en territoire inconnu. On dispose à cet effet de plusieurs types de capteurs : caméras; un programme d'analyse des images étant alors nécessaire, capteurs laser, capteurs infrarouge et capteurs à ultrasons. On utilise en général un capteur à ultrasons qui permet de renseigner sur la présence d'un obstacle sur le chemin d'évolution. Une fois les obstacles repérés, le robot peut effectuer plusieurs actions, par exemple : cartographier le site sur lequel il évolue, vérifier si sa distance à l'obstacle est supérieure ou non à une distance limite, et dans le cas contraire, éviter l'obstacle

b. Modélisation de l'environnement

La connaissance du milieu dans lequel évolue le robot mobile n'est établie en général qu'après avoir effectué une campagne de mesure de l'ensemble des éléments constituant l'environnement. Cette procédure fastidieuse peut être évitée si le robot construit lui-même son modèle d'environnement de manière dynamique. Par contre, la planification de trajectoire n'est pas utilisable tant que le robot ne dispose pas d'un modèle de l'espace d'évolution ce qui handicape très fortement l'utilisation du robot [7].

A partir de cette base d'informations et d'une loi évaluant les erreurs de représentation, le planificateur peut générer des sous-trajectoires faisables dans certaines parties et modifier les sous trajectoires dans d'autres parties à l'aide des informations locales issues de la mesure des capteurs d'environnement. Lors de l'exécution d'une trajectoire, le robot acquiert des informations qui vont permettre de reconstituer le plus fidèlement possible le modèle de l'environnement de manière récursive à l'aide d'un algorithme approprié

c. Planification de trajectoire

On voit ainsi au travers de cette première approche assez théorique apparaître un problème essentiel : la planification de la trajectoire. Différentes approches sont envisageables selon que le robot évolue en milieu connu ou inconnu :

- L'évolution en territoire cartographié simplifie évidemment la tâche des concepteurs: une fois la carte de la zone d'évolution rentrée dans la mémoire d'un ordinateur communiquant avec le robot ou bien dans une mémoire intégrée au robot lui-même, des algorithmes de routage permettent de diriger le robot. [6]
- Il en va tout autrement dans le cas de l'évolution en territoire inconnu. Le robot doit alors analyser son environnement au moyen de différents capteurs, détecter sa position par rapport à son but, et décider de sa trajectoire. Cette localisation peut s'effectuer par différentes méthodes : triangulation de signaux émis par des balises déposées au cours du déplacement ou/et repérage d'obstacles à distance et construction d'une carte du site, mesures odométriques et estimation de la position.

On applique ensuite des algorithmes complexes pour diriger le robot. Ceux-ci peuvent amener des résultats plus ou moins heureux, le principal problème étant la non convergence de certaines boucles de déplacement. Si aucun algorithme de secours n'a été prévu, l'intervention humaine est alors nécessaire.

I.7 Classification des Robots Mobiles

On peut classer les robots mobiles selon leur degré d'autonomie, système de locomotion, leur domaine d'application, leur système de localisation, l'énergie utilisée...

Nous allons présenter ici quatre classifications qui semblent être les plus intéressantes

I.7.1 Classification selon le degré d'autonomie

Un robot mobile autonome est un système automoteur doté de capacités décisionnelles et de moyens d'acquisition et de traitements de reformation qui lui permettent d'accomplir sous contrôle humain réduit un certain nombre de tâches, dans un environnement non complètement connu. On peut citer quelques types :

- Véhicule télécommande par un opérateur Ces robots sont commandés par un opérateur qui leurs impose chaque tache élémentaire à réaliser
- Véhicule télécommandé au sens de la tâche à réaliser Le véhicule contrôle automatiquement ses actions.
- Véhicule semi-autonome Ce type de véhicule réalise des tâches prédéfinies sans l'aide de l'opérateur.
- Véhicule autonome Ces derniers réalisent des tâches semi-définies.

I.7.2 Classification selon le type de locomotion

Selon le système de locomotion, on peut distinguer quatre types des robots:

➤ Les robots mobiles à roues

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

Nous citerons ici les quatre classes principales de robots à roues. [7] [8]

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

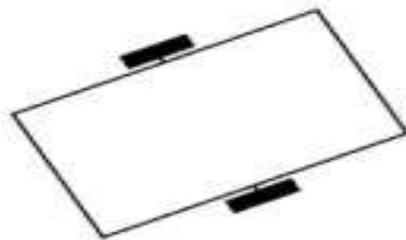


Figure I.4 Robot de type uni cycle

- ❖ **Robot tricycle**: Est constitué de deux roues fixes placées sur un même axe et d'une roue centrée orientable placée sur l'axe longitudinal. Le mouvement du robot est donné par la vitesse des deux roues fixes et par l'orientation de la roue orientable.

Son centre de rotation est situé à l'intersection de l'axe contenant les roues fixes et de l'axe de la roue orientable. C'est un robot non-holonome. En effet, il est impossible de le déplacer dans une direction perpendiculaire aux roues fixes. Sa commande est plus

compliquée. Il est en général impossible d'effectuer des rotations simples à cause d'un rayon de braquage limité de la roue orientable

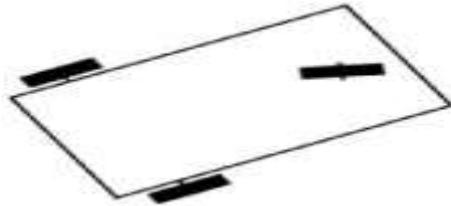


Figure I.5 Robot de type tricycle

- ❖ **Robot voiture** : Est semblable au tricycle, il est constitué de deux roues fixes placées sur un même axe et de deux roues centrées orientables placées elles aussi sur un même axe. Le robot de type voiture est cependant plus stable puisqu'il possède un point d'appui supplémentaire. Toutes les autres propriétés du robot voiture sont identiques au robot tricycle, le deuxième pouvant être ramené au premier en remplaçant les deux roues avant par une seule placée au centre de l'axe, et ceci de manière à laisser le centre de rotation inchangé.



Figure I.6 Robot de type voiture

- ❖ **Un robot omnidirectionnel**: C'est un robot qui peut se déplacer librement dans toutes les directions. Il est en général constitué de trois roues décentrées orientables placées en triangle équilatéral (figure I.7)

Tableau I.1 Les avantages et les inconvénients des différents types de robots à roues

Type du robot	Avantage	Inconvénient
uni cycle	<ul style="list-style-type: none"> - Stable - Rotation sur soi-même - Complexité mécanique 	*Non-holonome
Tri cycle	<ul style="list-style-type: none"> - Complexité mécanique modérée 	<ul style="list-style-type: none"> - Non-holonome - peu stable
Voiture	<ul style="list-style-type: none"> - Stable - Complexité mécanique modérée 	<ul style="list-style-type: none"> - Non holonome - Pas de rotation sur lui-même
Omnidirectionnel	<ul style="list-style-type: none"> - Holonome - Stable - Rotation sur soi-même 	<ul style="list-style-type: none"> - Complexité mécanique importante

Nous pouvons observer dans le tableau ci-dessous Tableau I.1, un récapitulatif des avantages et des inconvénients des différents types de robots à roues

L'énorme avantage du robot omnidirectionnel est qu'il est holonome puisqu'il peut se déplacer dans toutes les directions. Mais ceci se fait au dépend d'une complexité mécanique bien plus grande.

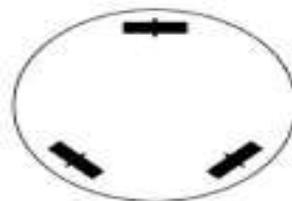


Figure I.7 Robot de type omnidirectionnel

➤ **Les robots à chenilles**

L'utilisation des chenilles présente l'avantage d'une bonne adhérence au sol et d'une faculté de franchissement d'obstacles .L'utilisation est orientée vers l'emploi sur sol accidenté ou de mauvaise qualité au niveau de l'adhérence (présence de boue, herbe...).

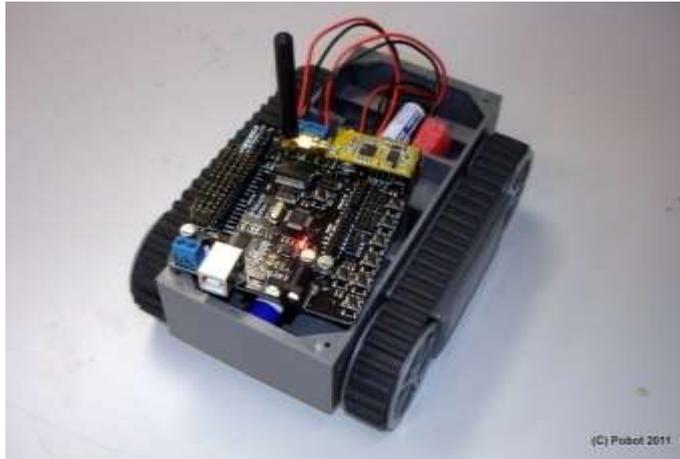


Figure I.8 Exemples de robots mobiles à chenilles

➤ Les robots marcheurs

Les robots marcheurs sont destinés à réaliser des tâches variées dont l'accès au site est difficile. Leur anatomie à nombreux degrés de liberté permet un rapprochement avec les robots manipulateurs. La locomotion est commandée en termes de coordonnées articulaires. Les différentes techniques étudiées se rapprochent de la marche des animaux et notamment de celle des insectes.

L'adaptation au support est un problème spécifique aux marcheurs. Il consiste à choisir le meilleur emplacement de contact en alliant l'avance et la stabilité avec l'aide de capteurs de proximité, de contact ou de vision.



Figure I.9 Exemples des robots marcheurs

➤ Les robots rampants

La reptation est une solution de locomotion pour un environnement de type tunnel qui conduit à réaliser des structures filiformes.

Le système est composé d'un ensemble de modules ayant chacun plusieurs mobilités. Les techniques utilisées découlent des méthodes de locomotion des animaux.

- Le type scolopendre constitue une structure inextensible articulée selon deux axes orthogonaux.
- Le type lombric comprend trois articulations, deux rotations orthogonales et une translation dans le sens du mouvement principal.
- Le type péristaltique consiste à réaliser un déplacement relatif d'un module par rapport aux voisins. [4]



Figure I.10 Exemple d'un robot rampant

I.7.3 Classification selon le domaine d'application

Bien que le champ d'application des robots mobiles reste illimité, nous présentons ici quelques domaines d'application :

a. Les robots industriels et de service

Il existe des robots mobiles destinés à des applications industrielles. Celles-ci concernent principalement le transport et la distribution (dans les usines, les mines, les hôpitaux et les ateliers), le nettoyage, l'entretien et la maintenance, la surveillance et la manutention. Quant aux robots de service, ils sont destinés à aider des handicapés moteurs, à guider les aveugles et à piloter des voitures automatiques.

b. Les robots militaires

Les applications militaires de la robotique mobile sont nombreuses. Ce champ d'application présente l'intérêt de fournir des spécifications serrées telles que la vitesse des véhicules, leurs capacités de franchissement des obstacles et leur rapidité de réaction.

c. Les robots de laboratoires

De nombreux laboratoires travaillant dans le domaine de la robotique, disposent de plates-formes expérimentales pour valider des travaux théoriques en perception ou en planification de mouvement.

I.7.4 Classification selon la motricité et l'énergie

Le déplacement des robots est réalisé par des moteurs de types :

- Thermique
- Hydraulique
- Électrique

L'énergie électrique la plus fréquemment employée offre l'avantage d'une commande aisée. Par contre le transport et la génération présentent des difficultés.

Plusieurs méthodes sont employées :

- ❖ Par batteries qui soul :
 - Soit par un échange avec d'autre lorsqu'elles sont déchargées
 - Soit recharges périodiquement de manière automatique ou manuelle.
- ❖ Par groupe électrogène embarqué dont l'inconvénient constitue la masse élevée, l'énergie de base est alors thermique.
- ❖ Par cordon ombilical qui réduit l'autonomie du robot.

L'énergie thermique est essentiellement employée par des véhicules de forte puissance comme énergie de base pour la traction ou pour activer un compresseur hydraulique.

De nombreux laboratoires travaillant dans le domaine de la robotique, disposent de plates-formes expérimentales pour valider des travaux théoriques en perception ou en planification de mouvement.

I.8 Systèmes de perception en robotique mobile

La perception est un domaine crucial de la robotique. C'est autour de ce concept qu'est bâtie la structure d'un robot apte à exécuter des tâches complexes ou à évoluer dans un univers inconnu ou mal connu.

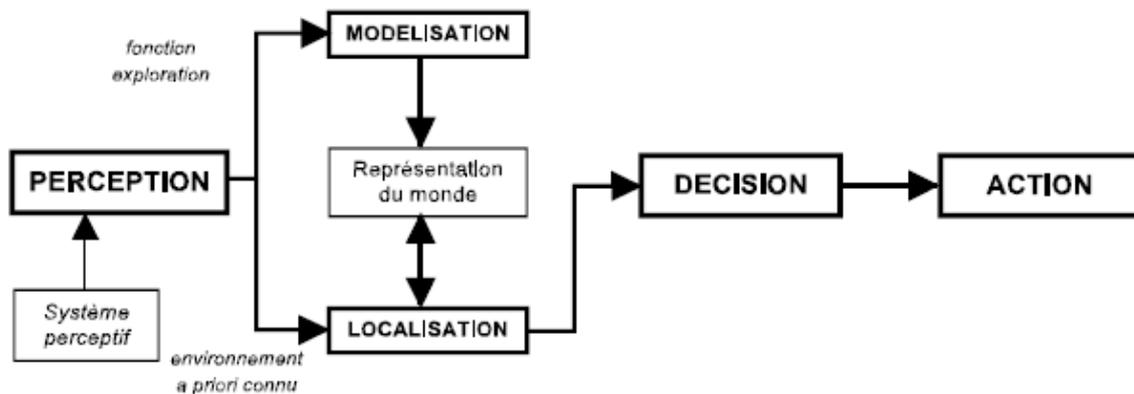


Figure I.11 Chaîne fonctionnelle d'un système de navigation.

L'élément de base du système de perception est le capteur qui a pour objet de traduire en une information exploitable des données représentant des caractéristiques de l'environnement.

Les moyens utilisés pour la perception de l'environnement sont nombreux. Nous citons:

- Les systèmes de vision globale.
- Les télémètres laser et ultrasonores.
- Les capteurs optiques et infrarouges.
- Les capteurs tactiles.

I.9 Capteurs

Un capteur est un dispositif convertissant une grandeur physique analogique (pression, température, déplacement, débit,...) en un signal analogique rendu transmissible et exploitable par un système de conditionnement (courant électrique, radiation lumineuse, radiofréquence). Le capteur est la partie d'une chaîne de mesure qui se trouve au contact direct du mesurande

Nous présentons dans cette section les capteurs les plus couramment utilisés en robotique mobile pour les besoins de la navigation

I.9.1 Capteur proprioceptifs

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

I.9.2 Télémètres

Il existe différents types de télémètres, qui permettent de mesure la distance aux élément de l'environnement, utilisant divers principes physique

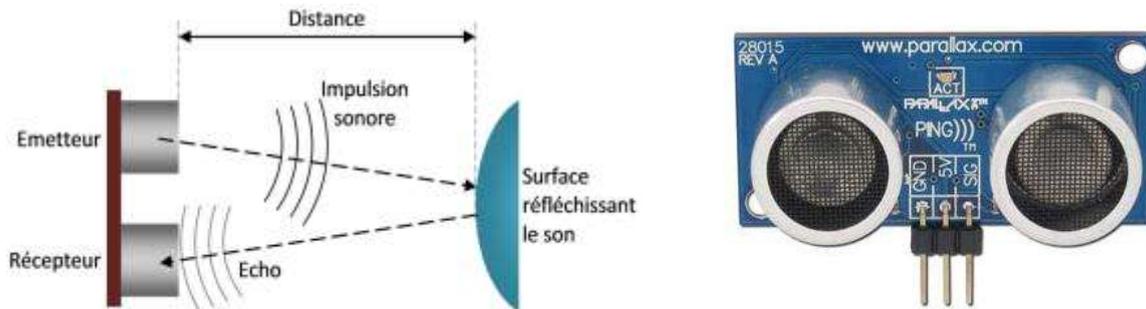


Figure I.12 Principe de télémètre à ultrasons et exemple de télémètre réel.

➤ Télémètre à ultrasons

Les télémètre à ultrason sont historiquement les plus premiers à avoir été utilisés, Ils utilisent la mesure du temps de vol d'une onde sonore réfléchi par les obstacle pour estimer les obstacles pour estimer la distance comme illustre la (figure I.12)

Ces télémètre sont très simple et peu cher, et sont donc très réponsus.

Ils possèdent une « zone aveugle », de quelques centimètres, en dessous de laquelle ils ne peuvent détecter les obstacles. Cette zone est due à temporisation entre l'émission de l'onde sonore et e début de la détection de l'onde réfléchi qui est nécessaire pour ne pas perturber cette mesure. La distance D entre le capteur et l'obstacle est :

$$D = T * \frac{V}{2} \quad (I.1)$$

Avec:

V : la vitesse de déplacement des ultrasons dans l'aire.

T : le temps entre l'émission et la réception.

Les télémètres ultrason détecteur les obstacles se situant dans un cône relativement large (Angle au sommet d'environ 30 degrés). Cette caractéristique présente un avantage, car des éléments relativement fins (les pieds de table ou de chaise par exemple) sont détectés dans un cône, alors qu'ils pourraient ne pas être détectés par des télémètres ayant un angle d'ouverture très fin. [7]

➤ Télémètre à infrarouges

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

Il est possible de mesurer simplement le retour ou le non-retour d'une impulsion codée, ce qui permet de détecter la présence ou l'absence d'un obstacle.

Il est également possible de réaliser une triangulation sur le faisceau de retour de l'onde lumineuse, ce qui permet d'avoir une mesure de la distance de l'obstacle, comme illustre la (figure I.13)

Les inconvénients de ces télémètre sont liés à leur portée, en général relativement restreinte, et à leur sensibilité aux sources de lumières qui contiennent un fort rayonnement infrarouge. Un projecteur du type de ceux utilisés pour la télévision pointé sur le robot,

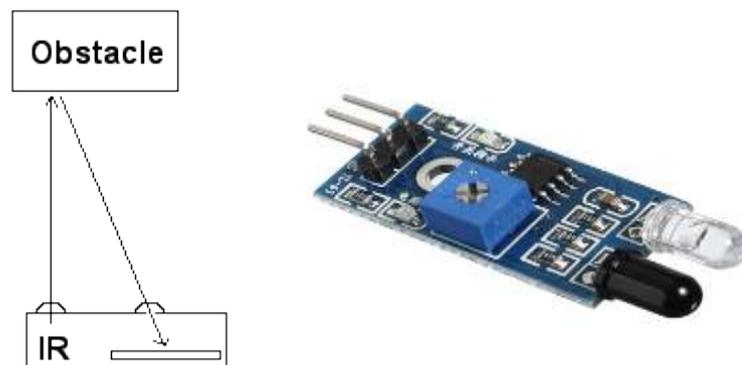


Figure I.13 Principe de télémètre infrarouge à triangulation et exemple de télémètre réel

Par exemple, sature en général complètement le récepteur et empêche toute détection d'obstacle. Ils sont également très sensibles à la couleur et à la nature de la surface de l'obstacle (par exemple, ils détectent difficilement les vitres et les obstacles noirs mats)

I.9.3 Télémètre a laser

Les télémètres les plus utilisés à l'heure actuelle pour des applications de cartographie et de localisation sont les télémètres laser à balayage. Ils utilisent un faisceau laser mis en rotation afin de balayer un plan, en général horizontal, et qui permet de mesurer la distance des objets qui coupent ce plan comme montre la (Figure I.14)

Laser et un exemple de Télémètre Laser à balayage, fournissant 720 mesure réparties sur 360 degrés, à 5Hz (marque LBEO) Cette mesure peut être réalisée selon différentes techniques soit en mesurant le temps de vol d'une impulsion laser, soit par triangulation.

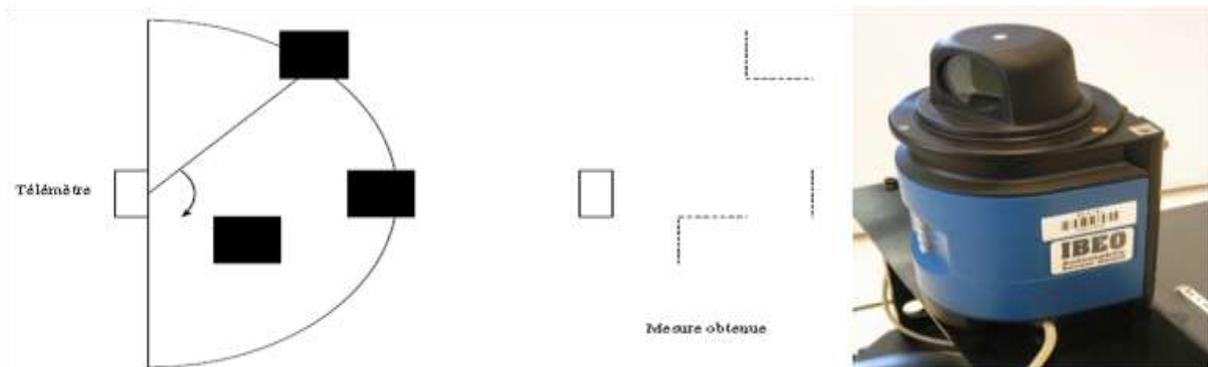


Figure I.14 Principe de fonctionnement d'un télémètre

Les télémètres courants ont une bonne résolution angulaire car ils permettent d'obtenir une mesure de distance tous les demi degrés, sur une zone de 180 ou 360 degrés selon les modèles. La mesure est de plus relativement précise (avec un bruit de l'ordre de quelque centimètre) à une distance relativement grande (plusieurs dizaines de mètres). La fréquence d'acquisition est en général de l'ordre de la dizaine de Hertz, voire proche de la centaine pour certains modèle.

I.9.4 Caméras

L'utilisation d'une caméra pour percevoir l'environnement est une méthode attractive car elle semble des méthode utilisées par les humains et fournit une grande quantité d'information sur l'environnement. Le traitement des données volumineuses et complexes.

Fournies par ces capteurs est cependant souvent difficile, mais c'est une voie de recherche très explorée et prometteuse pour la robotique.

I.10 Conclusion

Ce chapitre présente des généralités importantes sur la robotique. La construction, les applications et les types des robots mobiles à roues. Il permet de rappeler les différents accessoires et le principe de fonctionnement

Chapitre II

Moteurs à courant continu

II.1 Introduction

Un moteur c'est un transducteur assurant une conversion d'énergie et d'information de la forme électrique à la forme mécanique ou inversement grâce au phénomène d'induction électromagnétique. La robotique emploie deux types de moteurs électriques :

- Les moteurs à courant continu.
- Les moteurs incrémentaux ou pas à pas

II.1.1 Moteurs à courant continu

Les moteurs à courant continu sont des convertisseurs électromécaniques d'énergie : Soit ils convertissent l'énergie électrique absorbée en énergie mécanique lorsqu'ils sont capables de fournir une puissance mécanique suffisante pour démarrer puis entraîner une charge en mouvement. On dit alors qu'ils ont un fonctionnement en moteur. Soit ils convertissent l'énergie mécanique reçue en

énergie électrique lorsqu'ils subissent l'action d'une charge entraînant. On dit alors qu'ils ont un fonctionnement en générateur [9]

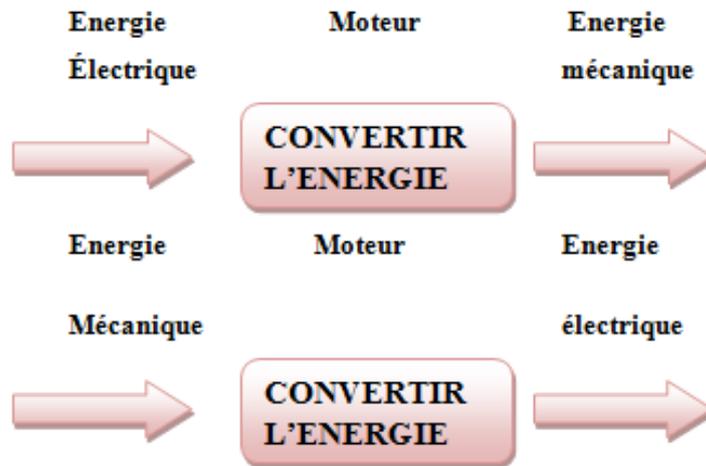


Figure II.1 Fonctionnement de moteur à courant continu

II.1.2 Constitution d'un moteur à courant continu

Le moteur à courant continu est constitué de trois parties principales : [9]

- l'inducteur.
- l'induit.
- le dispositif collecteur / balais. (Figure II.2)

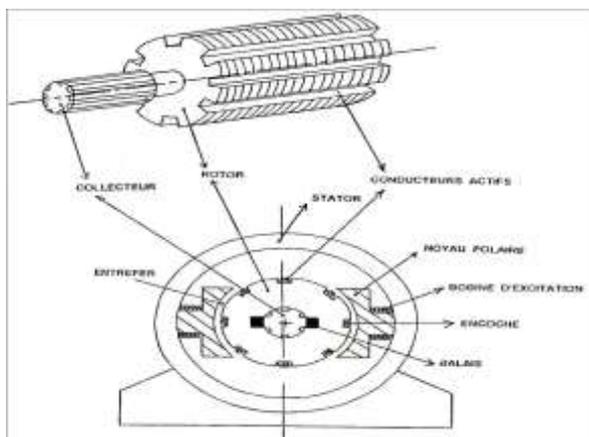


Figure II.2 Description de moteur à courant continu

➤ **L'inducteur**

L'inducteur est la partie fixe du moteur. Il est constitué d'un aimant permanent ou d'un électroaimant alimenté par le courant continu d'excitation

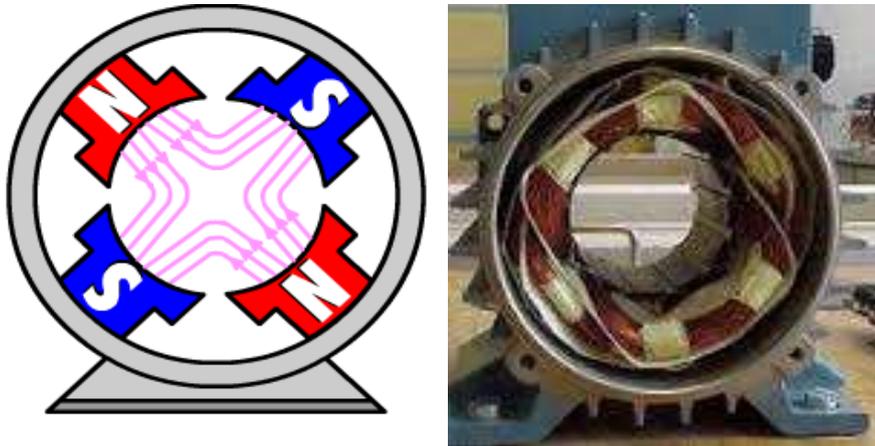


Figure II.3 L'inducteur de la machine à courant continu

➤ **Le rotor (l'induit)**

Le rotor est constitué d'encoches dans lesquelles est enroulé un bobinage de (N) conducteurs alimentés en courant continu (I) via le collecteur.

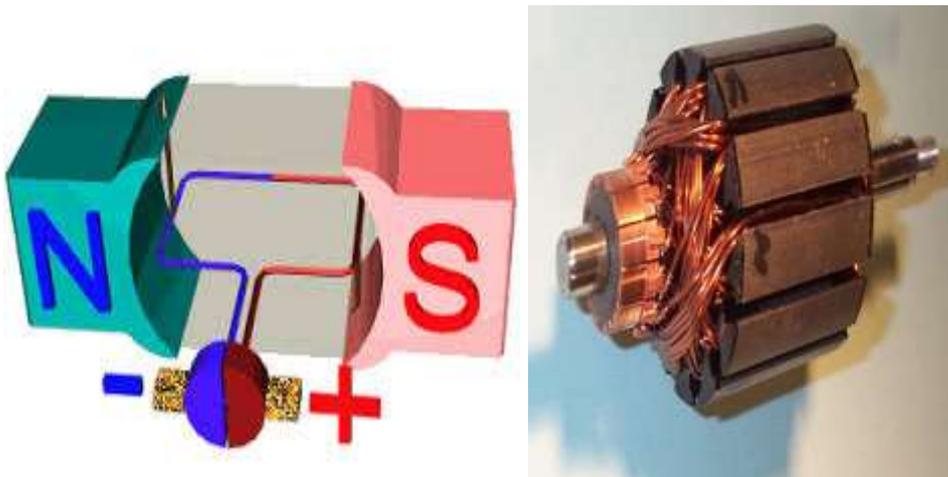


Figure II.4 Le rotor de la machine à courant continu

➤ **Le collecteur et les balais**

Le collecteur est un ensemble de lames de cuivre où sont reliées les extrémités du bobinage de l'induit. Les balais (ou charbons) sont situés au stator et frottent sur le collecteur en rotation.

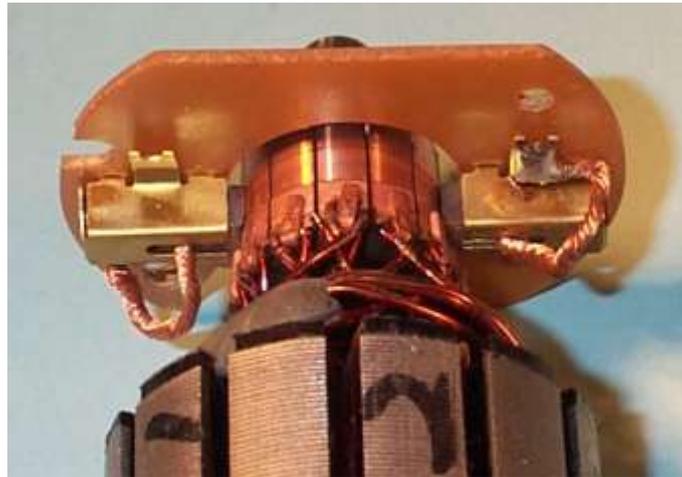


Figure II.5 Le dispositif collecteur / balais

II.1.3 Principe de fonctionnement

Le fonctionnement du moteur à courant continu est basé sur le principe des forces de Laplace :

Un conducteur de longueur (L), placé dans un champ magnétique et parcouru par un courant, est soumis à une force électromagnétique.

Le champ créé par l'inducteur agit sur les conducteurs de l'induit : Chacun des (N) conducteurs de longueurs (L) placé dans le champ (B) et parcouru par un courant (I) est le siège d'une force électromagnétique perpendiculaire au conducteur :

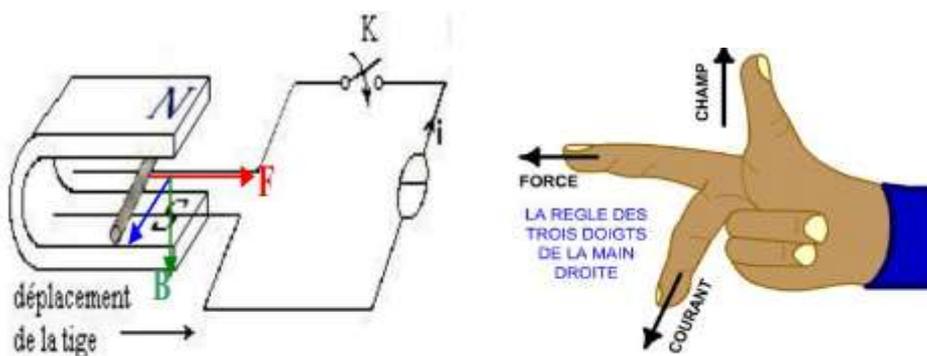


Figure II.6 Principe de fonctionnement d'un moteur à courant continu

$$F=B.I.L.\sin\alpha \quad (\text{II.1})$$

Ces forces de Laplace exercent un couple proportionnel à l'intensité (I) et au flux (Φ) sur le rotor. [9]

$$T_{em}=k.\phi.I \quad (\text{II.2})$$

Avec

K: constant

Le moteur se met à tourner à une vitesse proportionnelle à la tension d'alimentation (V) et, inversement proportionnelle au flux (Φ).

Au passage de tout conducteur de l'induit sur la ligne neutre, le courant qui le traverse change de sens grâce au collecteur. Le moteur conserve le même sens de rotation. Pour inverser le sens de rotation du moteur, il convient d'inverser le sens du champ produit par l'inducteur par rapport au sens du courant circulant dans l'induit :

- Soit on inverse la polarité de la tension d'alimentation de l'induit.
- Soit on inverse la polarité de la tension d'alimentation du circuit d'excitation.

II.1.4 Force contre électromotrice

Elle est donnée par la relation d'électrotechnique :

La force électromotrice (E) est la tension produite par le rotor (l'induit) lors de sa rotation dans le flux magnétique produit par la partie fixe (l'inducteur).

Elle dépend des éléments de construction de la machine.

$$E= Pa.N.n.\Phi \quad (\text{II.3})$$

P : nombre de paire de pôles de la machine.

N : nombre de conducteurs actifs de la périphérie de l'induit.

a : nombre de paires de voies de l'enroulement entre les deux balais.

n : fréquence de rotation de l'induit (en t/s).

Φ : flux sous un pôle de la machine en Webers.

Finalelement :

$$E=K.\Omega.\Phi \quad (\text{II.4})$$

Avec :

$$K= P/2\pi a * N \quad (\text{II.5})$$

II.1.5 Puissance électromagnétique

Si l'induit présente une F.é.m. E et s'il est parcouru par le courant I , il reçoit une puissance électromagnétique

$$P_{em} = E \cdot I \tag{II.6}$$

D'après le principe de conservation de l'énergie cette puissance est égale à la puissance développée par le couple électromagnétique [1]

$$P_{em} = E \cdot I = T_{em} \cdot \Omega \tag{II.7}$$

II.1.6 Bilan énergétique d'un moteur cc

On peut représenter le bilan des puissances mises en jeu dans un moteur à courant continu en fonctionnement nominal par une flèche qui rétrécit au fur et à mesure que la puissance diminue.

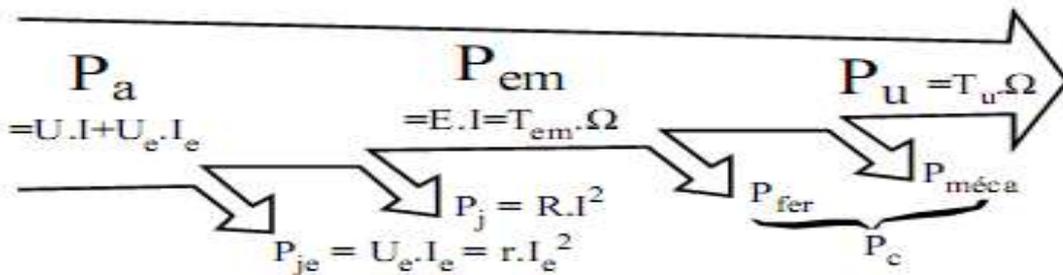


Figure II.7 Bilan énergétique d'un moteur cc

- P_a : Puissance absorbée (W)
- P_u : Puissance utile (W)
- P_{em} : Puissance électromagnétique (W)
- P_{je} : Pertes par effet joule dans l'induit (W)
- P_{fer} : Pertes ferromagnétique (W)
- P_{mec} : Pertes mécaniques (W)
- Ω la vitesse de rotation (rad/s)
- r la résistance d'induit (Ω)
- U_e la tension de l'inducteur (V)
- I_e le courant d'inducteur (A)
- E la f.é.m. (V)
- I le courant d'induit (A)
- T_{em} le couple électromagnétique (N.M)
- T_u le couple utile (N.M)
- R la résistance d'induit (Ω)

Rendement

Les moteurs à courant continu consomment une partie de l'énergie absorbée pour leur fonctionnement. Le rapport entre l'énergie fournie et l'énergie absorbée est le rendement.

$$\eta = P_u / P_a \tag{II.8}$$

II.1.7 Type d'excitation d'un moteur à courant continu

Suivant l'application, les bobinages du l'inducteur et de l'induit peuvent être connectés de manière différente. On retrouve en général.

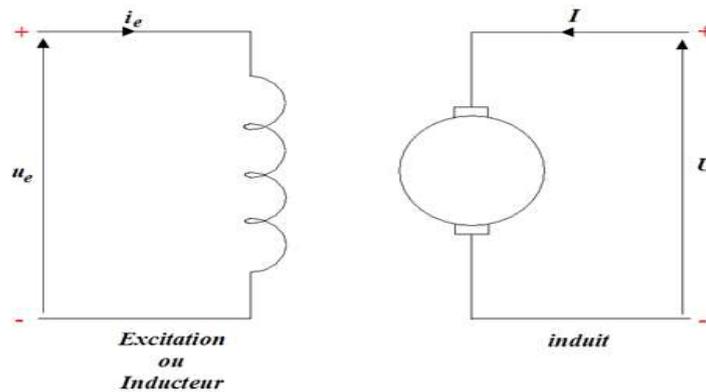


Figure II.8 Moteur à excitation indépendante

a. Moteurs à excitation indépendante

Les deux enroulements statorique et rotorique sont alimentés avec des sources de tension indépendantes. Il faut, donc, deux alimentations : une pour l'induit et l'autre pour l'inducteur

b. Moteur à eicitation série

Pour ce type de moteur, les enroulements statorique et rotoriques sont alimentés en série. La tension d'alimentation est partagée en le rotor et le stator.

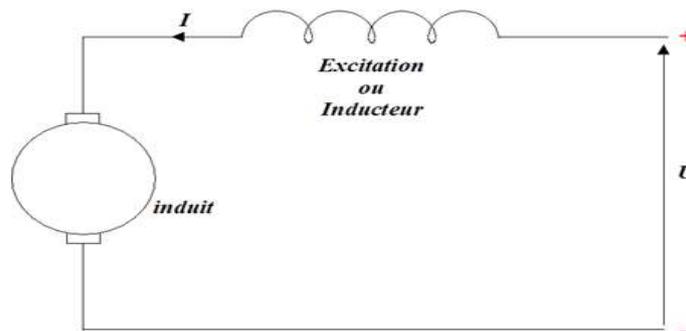


Figure II.9 Moteur à excitation série

c. Moteurs à excitation composée

Dans le moteur compound une partie du stator est raccordé en série avec le rotor et un autre est de type parallèle ou shunt. Ce moteur réunit les avantages des deux types de moteur : le fort couple à basse vitesse du moteur série et l'absence d'emballement (survitesse) du moteur shunt.

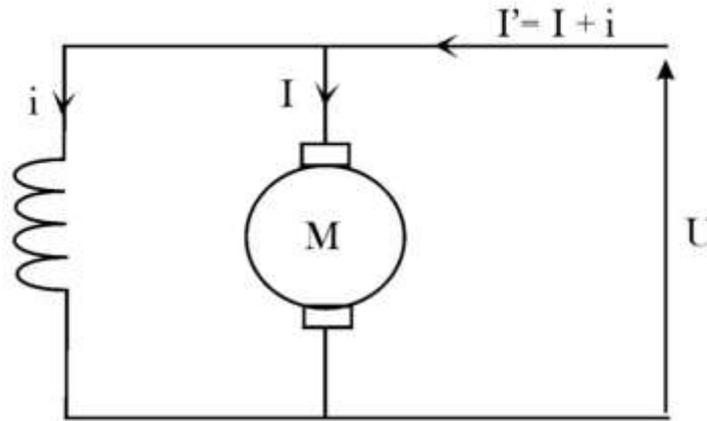


Figure II.10 Moteurs à excitation composée

II.1.8 Avantage des moteurs à courant continu

Les moteurs à courant continu asservis apportent de grands avantages sur les moteurs pas à pas :

- meilleure précision de positionnement.
- plus de puissance.
- mouvements plus rapides.
- meilleure rendement.
- moins d'échauffement [9]

II.2 Circuit L293D

La méthode la plus courante pour conduire un moteur à courant continu dans les deux sens sous le contrôle d'un microcontrôleur est avec un pilote de moteur en H. Pont en H peuvent être construits à partir de zéro avec des transistors bipolaires jonction (BJT) ou avec des transistors à effet de champ (FET), ou peuvent être achetés comme une unité intégrée dans un boîtier de circuit intégré unique comme le L293D. L293D est simple et peu coûteuse pour les moteurs à courant faible, Pour les moteurs à courant élevé, il est moins coûteux de construire votre propre pont H à partir de zéro.

Le circuit intégré L293D est un double circuit de commande de moteur pont en H intégré. Les pilotes de moteurs agissent comme amplificateurs de courant car ils prennent un signal de faible courant de contrôle et de fournir un signal à courant élevé. Ce signal de courant plus élevée est utilisé pour entrainer les moteurs

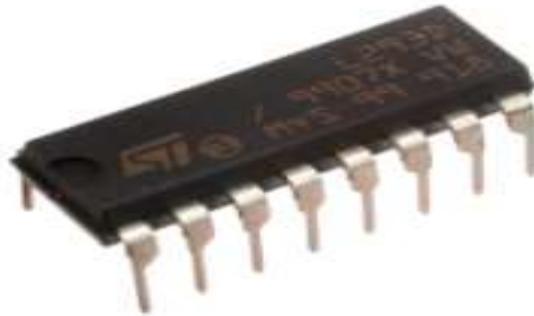


Figure II.11 Photo réel de L293D

Il contient deux circuits d'attaque de pont en H intégrés. Dans son mode de fonctionnement commun, deux moteurs à courant continu peuvent être entrainés simultanément, à la fois en avant et en sens inverse. Les opérations du moteur de deux moteurs peuvent être commandées par une logique d'entrée aux 2, 7, 10, et 15.

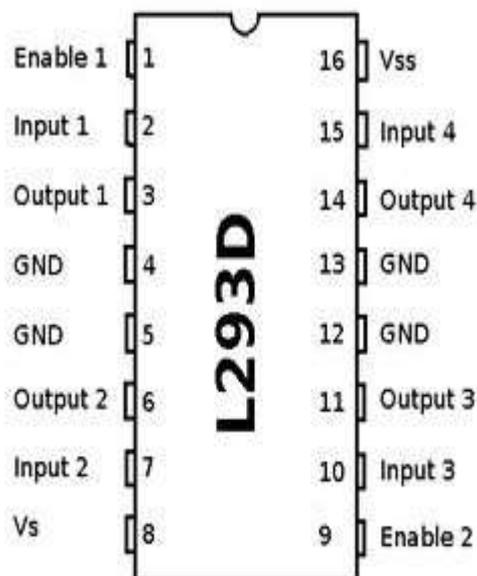


Figure II.12 Circuit de L293D

Logique d'entrée 00 ou 11 arrête le moteur correspondant. Logique 01 et 10 tournent dans des directions droite et à gauche, respectivement activer les broches 1 et 9 (correspondant aux deux moteurs) doivent être élevés pour les moteurs de commencer à fonctionner. Quand une entrée de validation est élevée, le pilote associé obtient activé. En conséquence, les sorties deviennent actifs et fonctionnent en phase avec leurs entrées. De même. Lorsque l'entrée de validation est faible, ce pilote est désactivé, et leurs sorties sont hors tension et dans l'état haut impédance comme illustre dans la Figure II.12

II.3 Variation de vitesse

Pour faire varier la vitesse d'un moteur à courant continu, on peut agir sur la tension aux bornes de l'induit.

La tension d'induit est directement proportionnelle à la vitesse de rotation. La puissance varie mais le couple reste constant. On dit alors que l'on fait de la variation de vitesse à couple constant.

Mais on constate que pour des valeurs faibles de la tension, le moteur ne tourne pas. Le moteur demande une tension minimale pour démarrer. Si cette dernière est trop basse, les forces électromagnétiques ne sont pas suffisantes pour vaincre le frottement. Il devient donc difficile d'ajuster la vitesse de façon précise.

La solution à ce problème est astucieuse. Il suffit de fournir au moteur une tension qui est toujours la même soit la tension maximale ! Par contre, cette tension ne sera appliquée que par très courtes périodes de temps. En ajustant la longueur de ces périodes de temps, on arrive à faire tourner plus ou moins vite les moteurs. Mieux, on remarque que la vitesse des moteurs devient proportionnelle à la longueur des périodes de temps. Contrôler la longueur des périodes passées à la tension maximale par rapport au temps passé sans application de tension (tension nulle) est donc le cœur de la solution. En réalité, cette solution est très connue en contrôle des systèmes et en électronique et elle porte le nom de PWM (Pulse Width Modulation) ou Modulation par Largeur d'Impulsions (MLI).

II.4 Signale PWM

Le PWM est un signal numérique carré, donc la tension peut prendre deux valeurs seulement. Le niveau bas correspond généralement à 0 Volt. La période est notée T , la durée de l'impulsion (pour laquelle la tension est celle de l'état haut) est appelée T_h .

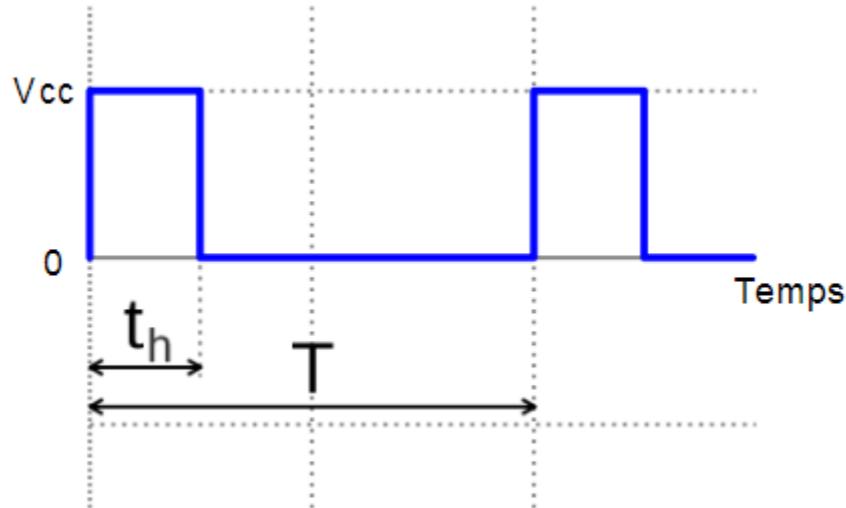


Figure II.13 Signale PWM

L'intérêt du PWM est que la tension appliquée au moteur pendant T_h est V_{cc} . Celle-ci est suffisante pour vaincre les frottements et faire tourner le moteur. La tension moyenne appliquée au moteur est proportionnelle au rapport cyclique, ce qui permet d'avoir des consignes de vitesse faibles

$$V_{moy} = \frac{T_h * V_{cc}}{T} \quad (\text{II.9})$$

Grâce à l'environnement de programmation simplifié, un PWM s'obtient sur une carte ARDUINO UNO avec la fonction **analogWrite** utilisé sur une patte numérique Digital 3, 5, 6, 9, 10 ou 11

II.5 Encodeurs pour la robotique

Un encodeur est un dispositif électromécanique qui génère un signal électrique en fonction de la position ou du déplacement de l'élément mesuré. En robotique mobile, les encodeurs rotatifs sont utilisés pour mesurer le déplacement (sens et vitesse de rotation) de chacune des roues du robot.

On distingue deux grands types d'encodeurs incrémentaux et absolus. Un encodeur incrémental génère un signal permettant de déterminer sens et vitesse de rotation tandis qu'un encodeur absolu génère une information absolue indiquant la position du capteur

La plupart des encodeurs pour robots mobiles utilisent des capteurs optiques (mais il existe des encodeurs utilisant une information mécanique ou magnétique). L'idée est de placer un disque alternant des zones transparentes et opaques devant un capteur de lumière et de rendre le disque solidaire de l'axe de rotation de la roue. La fréquence d'apparition des zones blanches et noires (ou de tout autre principe offrant un contraste suffisant) devant le capteur de lumière va indiquer la vitesse de rotation. Figure II.14

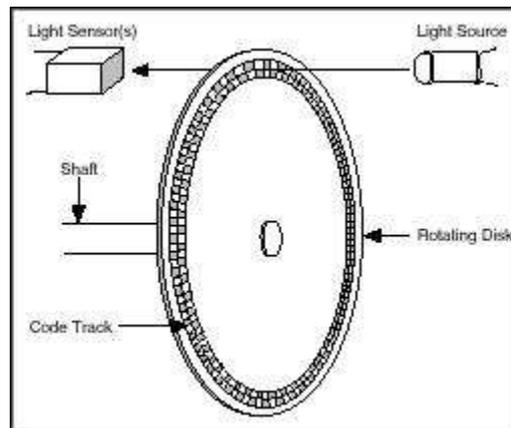


Figure II.14 Principe de fonctionnement basique de l'encodeur

II.6 Asservissement

Un asservissement est un système dont l'objet principal est d'atteindre le plus rapidement possible sa valeur de consigne et de la maintenir, quelles que soient les perturbations externes. Le principe général est de comparer la consigne et l'état du système de manière à le corriger efficacement Figure II.15

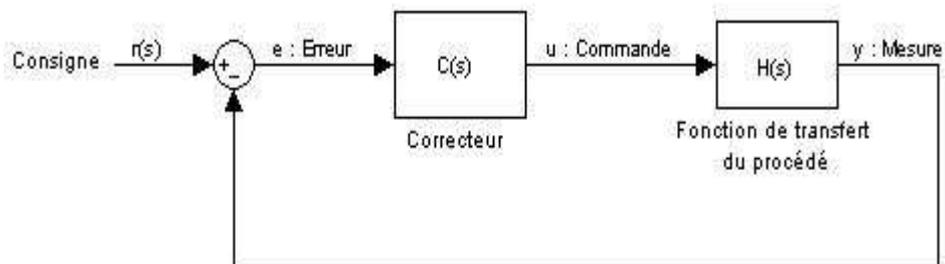


Figure II.15 Synoptique général d'un système asservi

L'asservissement en vitesse d'un moteur à courant continu est la plupart du temps nécessaire pour les robots mobiles. [10]

Le PID est un type d'asservissement courant en robotique, car il permet de garantir une valeur fixe (le cap) même quand le robot est en déplacement. Comme le PID fonctionne même avec une consigne variable, on peut ainsi avoir en même temps un mouvement reproductible (suivre une trajectoire précise) et une correction des petits accidents de parcours (glissements, jeu dans la mécanique, etc.).

Le correcteur PID agit de trois manières :

- action proportionnelle : l'erreur est multipliée par un gain G
- action intégrale : l'erreur est intégrée et divisée par un gain T_i
- action dérivée : l'erreur est dérivée et multipliée par un gain T_d

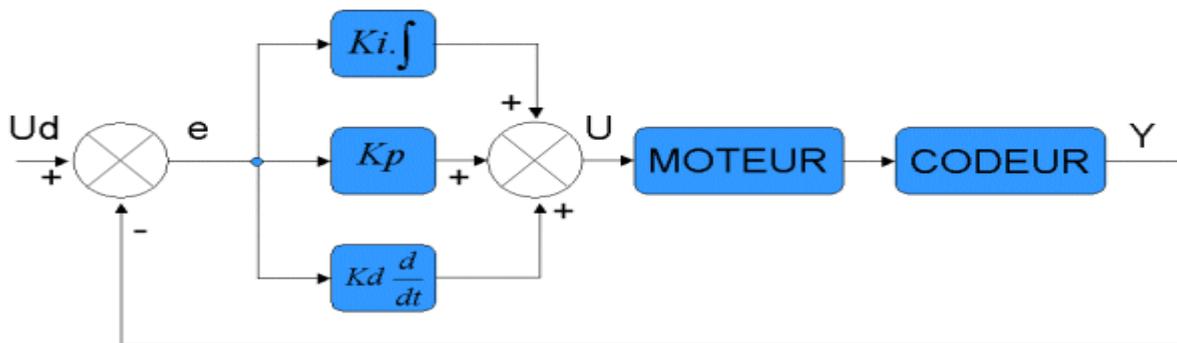


Figure II.16 Asservissement PID

Avec :

U_d : vitesse désirée

e : erreur entre la vitesse désirée et la vitesse réelle

U : Consigne appliquée au moteur

Y : Vitesse réelle

II.7 Conclusion

Ce chapitre présente les types des moteurs, la construction, les applications. Il permet de rappeler les différents éléments qui constituent une machine à courant continu et le principe de fonctionnement.

Chapitre III

Microcontrôleur ATmega328

III.1 Introduction

Un microcontrôleur c'est un circuit intégré qui rassemble les éléments essentiels d'un ordinateur : processeur, mémoires (mémoire morte pour le programme, mémoire vive pour les données), unités périphériques et interfaces d'entrées-sorties. Les microcontrôleurs se caractérisent par un plus haut degré d'intégration, une plus faible consommation électrique, une vitesse de fonctionnement plus faible et un cout réduit par rapport aux microprocesseurs polyvalents utilisés dans les micro-ordinateurs personnels.

Par rapport à des systèmes électroniques à base de microprocesseurs et autres composants séparés, les microcontrôleurs permettent de diminuer la taille, la consommation électrique et le cout des produits. Ils ont ainsi permis de démocratiser l'utilisation de l'information dans un grand nombre de produits et de procédés.

Les microcontrôleurs sont fréquemment utilisés dans les systèmes embarqués, comme les contrôleurs des moteurs automobiles, les télécommandes, les appareils de bureau l'électroménager, la téléphonie mobile....etc.

III.2 Caractéristique principale d'un microcontrôleur

Les microcontrôleurs sont des composants qui permet la gestion des cartes, ils sont caractérisés par :

- De nombre périphérique d'E/S
- Une mémoire de programme
- Une mémoire vive (en générale de type SRAM)
- Eventuellement une mémoire EEPROM destinée à la sauvegarde par programme de données à la coupure de l'alimentation.
- Faible consommation électrique

III.3 Différentes Familles de microcontrôleurs

On trouve plusieurs familles des microcontrôleurs citons :

- ❖ La famille AtmelAT91.
- ❖ La famille Atmel AVR (utilisées par des cartes wiring et Arduino)
- ❖ Le C167 de siemens.
- ❖ La famille Hitachi H8.
- ❖ La famille des PIC de Micro chip.
- ❖ La famille PSOC de Cyprée .
- ❖ La famille LPC21xx ARM7-TDMI de philips .
- ❖ La famille V800 de NEC
- ❖ La famille K0 NES. [11]

III.4 Microcontrôleur Arduino

Le module Arduino est un circuit imprimé en matériel libre (plateforme de contrôle) [11] dont les plans de la carte elle-même sont publiés en licence libre dont certains composants de la carte : comme le microcontrôleur et les composants complémentaires qui ne sont pas en licence libre.

Un microcontrôleur programmé peut analyser et produire des signaux électriques de manière à effectuer des tâches très diverses. Arduino est utilisé dans beaucoup d'applications comme l'électrotechnique industrielle et embarquée ; le modélisme, la domotique mais aussi dans des domaines différents comme l'art contemporain et le pilotage d'un robot, commande des moteurs et faire des jeux de lumières, communiquer avec l'ordinateur, commander des appareils mobiles (modélisme).

Chaque module d'Arduino possède un régulateur de tension +5 V et un oscillateur à quartz 16 MHz (ou un résonateur céramique dans certains modèles). Pour programmer cette carte, on utilise l'logiciel IDE Arduino.

Le système Arduino donne la possibilité d'allier les performances de la programmation à celles de l'électronique. Plus précisément, pour programmer des systèmes électroniques. Le gros avantage de l'électronique programmée c'est qu'elle simplifie grandement les schémas électroniques et par conséquent, le cout de la réalisation, mais aussi la charge de travail a la conception d'une carte électronique. [12]

III.4.1 Différentes gammes Arduino

Actuellement, il existe plus de 20 versions de module Arduino, nous citons quelquesun afin d'éclaircir l'évaluation de ce produit scientifique et académique: [12]

- Le NG d'Arduino, avec une interface d'USB pour programmer et usage d'un ATmega8.
- L'extrémité d'Arduino, avec une interface d'USB pour programmer et usage d'un Microcontrôleur ATmega8.
- L'Arduino Mini, une version miniature de l'Arduino en utilisant un microcontrôleur ATmega168.
- L'Arduino Nano, une petite carte programme à l'aide porte USB cette version utilisant un microcontrôleur ATmega168 (ATmega328 pour une plus nouvelle version).
- Le LilyPa d Arduino, une conception de minimaliste pour l'application wearable en utilisant un microcontrôleur ATmega168.
- Le NG d'Arduino plus, avec une interface d' USB pour programmer et usage d'un ATmega168.
- L'Arduino Bluetooth, avec une interface de Bluetooth pour programmer en utilisant un microcontrôleur ATmega168.
- L'Arduino Diecimila, avec une interface d'USB et utilise un mi Cr control eur ATmega 168.
- L'Arduino Duemilanove ("2009"), en utilisant un microcontrôleur l'ATmega168 (ATmega328 pour une plus nouvelle version) et actionné par l'intermédiaire de la puissance d'USB/DC.
- L'Arduino Mega, en utilisant un microcontrôleur ATmega1280 pour I/O additionnelle mémoire.
- L'Arduino UNO, utilisations microcontrôleur ATmega328.

- L'Arduino Mega2560, utilisations un microcontrôleur ATmega2560, et possède toute la mémoire à 256 KBS. Elle incorpore également le nouvel ATmega8U2 (ATmega16U2 dans le jeu de puces d'USB de révision 3).
- L'Arduino Leonardo, avec un morceau ATmega3U4 qui élimine le besoin de raccordement d'USB et peut être employé comme clavier.
- L'Arduino Explora : ressemblant à un contrôleur visuel de jeu, avec un manche et des sondes intégrées pour le bruit, la lumière, la température, et l'accélération.

III.5 Présentation de la Carte Arduino UNO

Parmi ces types, nous avons choisi une carte Arduino UNO (carte Basique). L'intérêt principal de cette carte est de faciliter la mise en œuvre d'une telle commande qui sera détaillée par la suite.

La carte Arduino uno fournit un environnement de développement s'appuyant sur des outils open source comme interface de programmation. L'injection du programme déjà converti par l'environnement sous forme d'un code « HEX » dans la mémoire du microcontrôleur se fait d'une façon très simple par la liaison USB. En outre, des bibliothèques de fonctions "clé en main" sont également fournies pour l'exploitation d'entrées-sorties.

Cette carte est basée sur un **microcontrôleur ATmega 328** c'est un microcontrôleur 8bits de la famille AVR dont la programmation peut être réalisée en langage C. et des composants complémentaires.

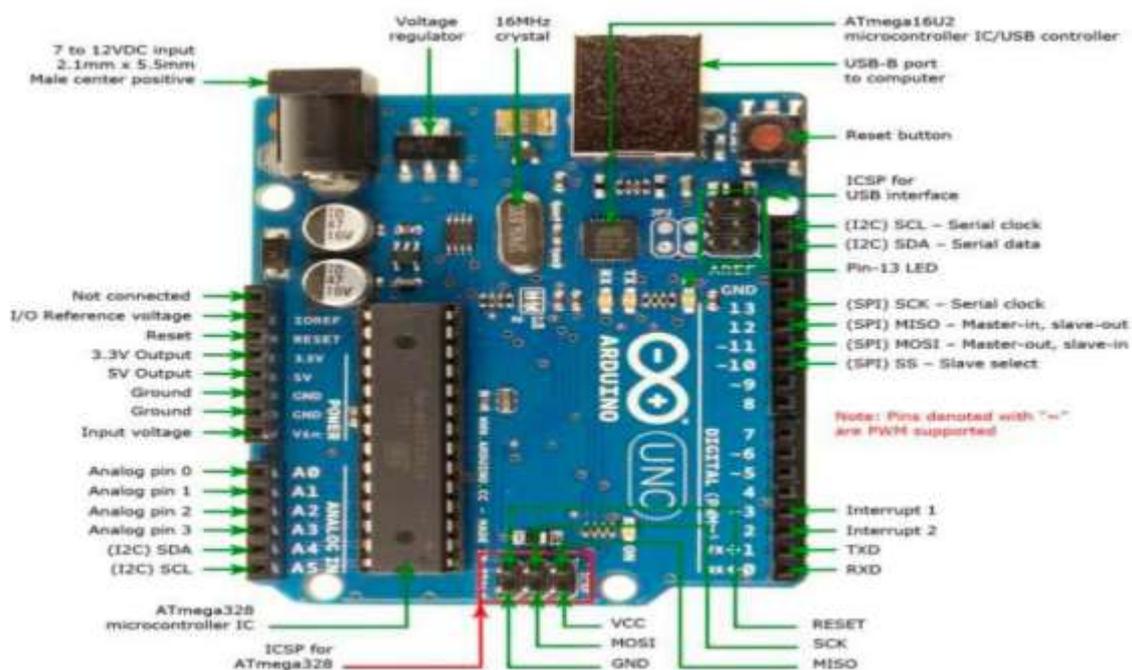


Figure III.1 Carte Arduino uno

La carte Arduino contient une mémoire morte de 1 kilo. Elle est dotée de 14 entrées/sorties digitales (dont 6 peuvent être utilisées en tant que sortie PWM), 6 entrées analogiques et un cristal à 16 MHz, une connexion USB et possède un bouton de remise à zéro et une prise jack d'alimentation. La carte est illustrée dans la figure ci-dessous. [13]

III.5.1 Avantage de la carte Arduino UNO

Il y a de nombreuses cartes électroniques qui possèdent des plateformes basées sur des microcontrôleurs disponibles pour l'électronique programmée. Tous ces outils prennent en charge les détails compliqués de la programmation et les intègrent dans une présentation facile à utiliser. De la même façon, le système Arduino simplifie la façon de travailler avec les microcontrôleurs tout en offrant à personnes intéressées plusieurs avantages cités comme suit:

- ❖ **Le prix (réduits)** : les cartes Arduino sont relativement peu coûteuses comparativement aux autres plates-formes. La moins chère des versions du module Arduino peut être assemblée à la main, (les cartes Arduino pré-assemblées coûtent moins de 2500 Dinars).
- ❖ **Multi plateforme** : le logiciel Arduino, écrit en JAVA, tourne sous les systèmes d'exploitation Windows, Macintosh et Linux. La plupart des systèmes à microcontrôleurs sont limités à Windows.
- ❖ **Un environnement de programmation clair et simple** : l'environnement déprogrammation Arduino (le logiciel Arduino IDE) est facile à utiliser pour les débutants, tout en étant assez flexible pour que les utilisateurs avancés puissent en tirer profit également.
- ❖ **Logiciel Open Source et extensible** : le logiciel Arduino et le langage Arduino sont publiés sous licence open source, disponible pour être complété par des programmeurs expérimentés. Le logiciel de programmation des modules Arduino est une application JAVA multi plateformes (fonctionnant sur tout système d'exploitation), servant d'éditeur de code et de compilateur, et qui peut transférer le programme au travers de la liaison série (RS232, Bluetooth ou USB selon le module).
- ❖ **Matériel Open source et extensible** : les cartes Arduino sont basées sur les Microcontrôleurs Atmel ATMEGA8, ATMEGA168, ATMEGA 328, les schémas des modules sont publiés sous une licence créative Commons, et les concepteurs des circuits expérimentés peuvent réaliser leur propre version des cartes Arduino, en les complétant et en les améliorant. Même les utilisateurs relativement inexpérimentés peuvent fabriquer la version sur plaque d'essai de la carte Arduino, dont le but est de comprendre comment elle fonctionne pour économiser le coût. [13]

III.6 Constitution de la carte Arduino UNO

Un module Arduino est un ensemble d'outils matériel et logiciel, est généralement construit autour d'un microcontrôleur ATMELAVR, et de composants complémentaires qui facilitent la programmation et l'interfaçage avec d'autres circuits. Chaque module possède au moins un régulateur linéaire 5V et un oscillateur à quartz 16 MHz (ou un résonateur céramique dans certains modèles). Le microcontrôleur est préprogrammé avec un boot loader de façon à ce qu'un programmeur dédié ne soit pas nécessaire. [13]

III.6.1 Partie matérielle

Généralement tout module électronique qui possède une interface de programmation est basé toujours dans sa construction sur un circuit programmable ou plus.

➤ Microcontrôleur ATmega328

La puce la plus courante qui équipe la carte Arduino c'est le microcontrôleur ATmega328. C'est un circuit intégré qui rassemble sur une puce plusieurs éléments complexes dans un espace réduit au temps des pionniers de l'électronique.

Aujourd'hui, en soudant un grand nombre de composants encombrants ; tels que les transistors; les résistances et les condensateurs tout peut être logé dans un petit boîtier en plastique noir muni d'un certain nombre de broches dont la programmation peut être réalisée en langage C. la figure 1.2 montre un microcontrôleur ATmega 328, qu'on trouve sur la carte Arduino

Le microcontrôleur ATmega328 associée à des entrées et sorties qui permettent à l'utilisateur de brancher différents types d'éléments externes. Il est constitué par un ensemble d'éléments qui ont chacun une fonction bien déterminée. [13]

➤ Architecture Interne du Microcontrôleur ATmega283

C'est un Microcontrôleur ATMEL de la famille AVR8bits. Les principales caractéristiques sont :

❖ La mémoire

Il en possède 5 types



Figure III.2 Microcontrôleur ATmega328

- ❖ **Mémoire Flash:** C'est celle qui contiendra le programme à exécuter. Cette mémoire est effaçable et réinscriptible mémoire programme de 32Ko (dont boot loader de 0.5 ko).
- ❖ **RAM :** c'est la mémoire dite "vive", elle va contenir les variables du programme. Elle est dite "volatile" car elle s'efface si on coupe l'alimentation du microcontrôleur. Sa capacité est 2 ko.
- ❖ **EEPROM :** C'est le disque dur du microcontrôleur. On y enregistre des infos qui ont besoin de survivre dans le temps, même si la carte doit être arrêtée. Cette mémoire ne s'efface pas lorsque l'on éteint le microcontrôleur ou lorsqu'on le reprogramme
- ❖ **Registres :** c'est un type de mémoire utilise par le processeur.
- ❖ **Mémoire cache :** c'est une mémoire qui fait la liaison entre les registres et la RAM.

➤ **Processeur**

C'est le composant principal du microcontrôleur. C'est lui qui va exécuter le programme qu'on lui donnera à traiter. On le nomme souvent le CPU. Pour que le microcontrôleur fonctionne, il lui faut une alimentation ! Cette alimentation se fait en générale par du +5V. D'autres ont besoin d'une tension plus faible, du +3,3V. En plus d'une alimentation, il a besoin d'un signal d'horloge. C'est en fait une succession de 0 et de 1 ou plutôt une succession de tension 0V et 5V. Elle permet en outre de cadencer le fonctionnement du microcontrôleur un rythme régulier.

- **I/O Numérique (entrées-sorties Tout Ou Rien)** = 3 ports Port B, Port C, Port D (soit 23 broches en tout I/O)
- **Compteur(Timer) :** Timer0 et Timer2 (comptage 8 bits), Timer1 (comptage 16bits) chaque timer peut être utilise pour générer deux signaux PWM. (6 broches OCxA/OCxB)
- **Plusieurs broches multifonctions :** certaines broches peuvent avoir plusieurs fonctions différentes choisies par programmation
- **PWM** = 6 broches OC0A (PD6), OC0B (PD5), OC1A (PB1), OC1B (PB3), OC2A (PB3), OC2B (PD3)
- **Convertisseur analogique-numérique** (résolution 10bits) = 6 entrées multiplexées ADC0(PC0) a ADC5(PC5)
- **Gestion bus I2C** (TWI Two Wire Interface) = Le bus est exploité via les broches SDA(PC5)/SCL(PC4).

- **Port série (USART)** = émission/réception série via les broches TXD(PD1)/RXD(PD0)
- **Comparateur Analogique** = broches AIN0(PD6) et AIN1 (PD7) peut déclencher interruption
- Interruptions liées aux entrées INT0 (PD2) et INT1 (PD3)
- Interruptions sur changement d'état des broches PCINT0 a PCINT23
- Interruptions liées aux Timers 0, 1 et 2 (plusieurs causes configurables)
- Interruption liée au comparateur analogique
- Interruption de fin de conversion ADC Interruptions du port série USART Interruption du bus **TWI (I2C)**. [12]

➤ Sources de l'alimentation de la carte

On peut distinguer trois genres de sources d'alimentation (Entrée Sortie) et cela comme suit :

- **VIN:** La tension d'entrée positive lorsque la carte Arduino est utilisée avec une source de tension externe (à distinguer du 5V de la connexion USB ou autre source 5V régulée). On peut alimenter la carte à l'aide de cette broche, ou, si l'alimentation est fournie par le jack d'alimentation, accéder à la tension d'alimentation sur cette broche.
- **5V.** La tension régulée utilisée pour faire fonctionner le microcontrôleur et les autres composants de la carte (pour info : les circuits électroniques numériques nécessitent une tension d'alimentation parfaitement stable dite "tension régulée" obtenue à l'aide d'un composant appelé un régulateur et qui est intégré à la carte Arduino). Le 5 V régulé fourni par cette broche peut donc provenir soit de la tension d'alimentation VIN via le régulateur de la carte, ou bien de la connexion USB (qui fournit du 5V régulé) ou de tout autre source d'alimentation régulée
- **3.3V.** Une alimentation de 3.3 V fournie par le circuit intégré FTDI (circuit intégré faisant l'adaptation du signal entre le port USB de votre ordinateur et le port série de l'ATmega) de la carte est disponible : ceci est intéressant pour certains circuits externes nécessitant cette tension au lieu du 5 V. L'intensité maximale disponible sur cette broche est de 50mA.
- **Entrées/Sorties** C'est par ces connexions que le microcontrôleur est relié au monde extérieur. Cette carte possède 14

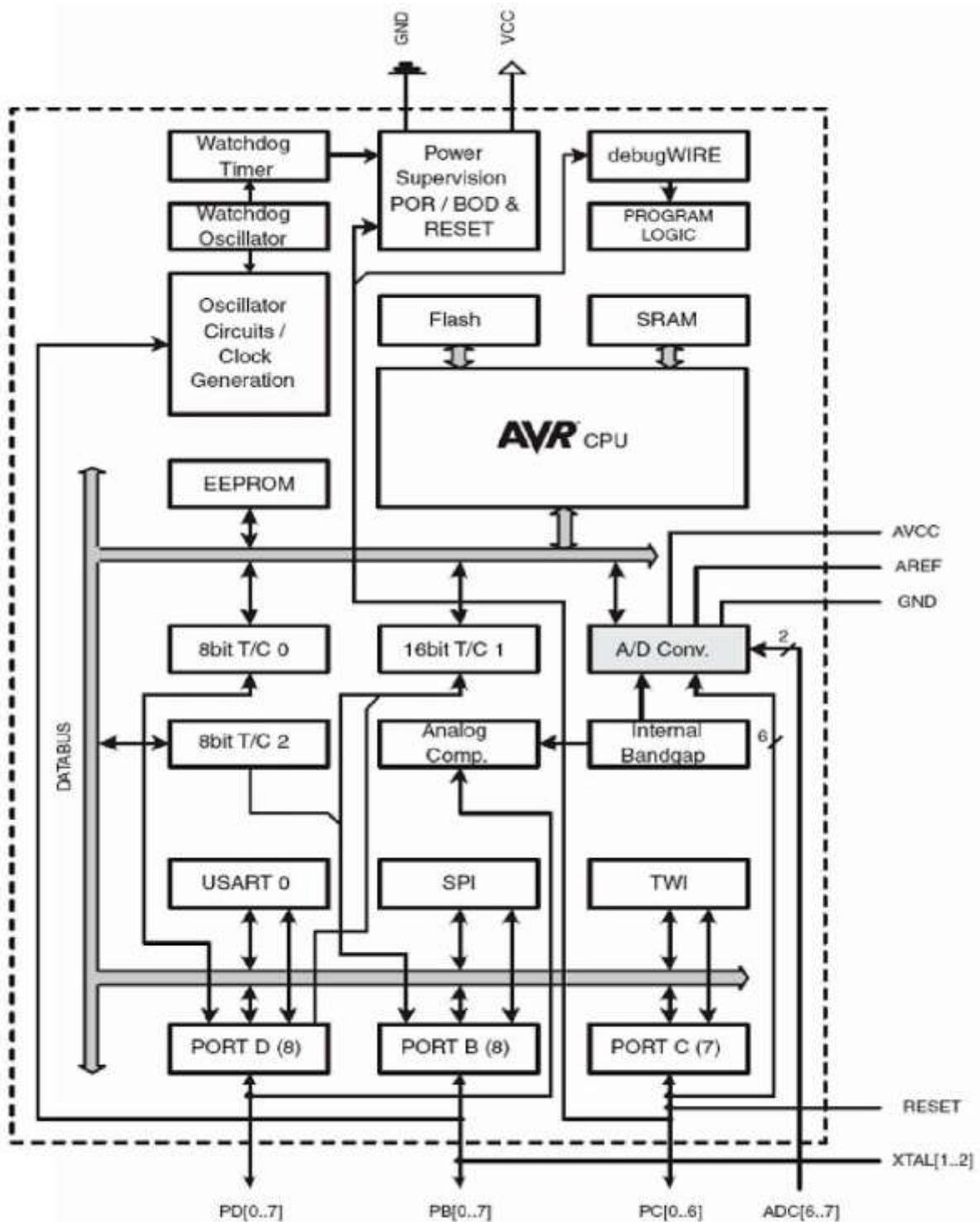


Figure III.3 Architecture Interne du Microcontrôleur ATmega328

broches numériques (numérotée de 0 à 13) peut être utilisée soit comme une entrée numérique, soit comme une sortie numérique, en utilisant les instructions "`pinMode(),digitalWrite()` et `digitalRead()` du langage Arduino".

Ces broches fonctionnent en 5 V. Chaque broche peut fournir ou recevoir un maximum de 40mA d'intensité et dispose d'une résistance interne de "rappel au plus" (pull-up) (déconnectée par défaut) de 20-50KOhms. Cette résistance interne s'active sur une broche en entrée à l'aide de l'instruction digital Write (broche, HIGH). En plus, certaines broches ont des fonctions spécialisées :

La carte Arduino UNO intègre un fusible qui protège le port USB de l'ordinateur contre les surcharges en intensité (le port USB est généralement limité à 500mA en intensité). Bien que la plupart des micro-ordinateurs aient leur propre protection interne, le fusible de la carte fournit une couche supplémentaire de protection. Si plus de 500mA sont appliqués au portUSB, le fusible de la carte coupera automatiquement la connexion jusqu'à ce que le court-circuit ou la surcharge soit stoppé. de la très utile fonction analogRead() du langage Arduino. Par défaut, ces broches mesurent entre le 0 V (valeur 0) et le 5 V (valeur 1023), mais il est possible de modifier la référence supérieure de la plage de mesure en utilisant la broche AREF et l'instruction analogReference() du langage Arduino.

La carte Arduino UNO intègre un fusible qui protège le port USB de l'ordinateur contre les surcharges en intensité (le port USB est généralement limité à 500mA en intensité). Bien que la plupart des ordinateurs aient leur propre protection interne, le fusible de la carte fournit une couche supplémentaire de protection. Si plus de 500mA sont appliqués au portUSB, le fusible de la carte coupera automatiquement la connexion jusqu'à ce que le court-circuit ou la surcharge soit stoppé.

➤ Ports de communication

La carte Arduino UNO a de nombreuses possibilités de communications avec l'extérieur. L'Atmega328 possède une communication série UART TTL (5V), grâce aux broches numériques 0 (RX) et 1 (TX). On utilise (RX) pour recevoir et (TX) transmettre (les données séries de niveau TTL). Ces broches sont connectées aux broches correspondantes du circuit intégré ATmega328. [13]

III.6.2 Partie logiciel

Une telle carte d'acquisition qui se base sur sa construction sur un microcontrôleur doit être dotée d'une interface de programmation comme est le cas de notre carte. L'environnement de programmation open-source pour Arduino peut être téléchargé gratuitement (pour Mac OS X, Windows, et Linux).



Figure III.4 Constitution de la carte Arduino UNO

➤ **Logiciel de programme ARDUINO**

Le logiciel de programmation des modules Arduino est une application Java multiplateformes (fonctionnant sur tout système d'exploitation), servant d'éditeur de code (une cinquantaine de commandes différentes) et de compilateur, et qui peut transférer le firmware (et le programme) au travers de la liaison série (RS232, Bluetooth ou USB selon le module).

Le développement sur Arduino est très simple :> on code l'application : Le langage Arduino est basé sur les langages C/C++ avec des fonctions et des bibliothèques spécifiques à Arduino (gestions des e/s).

- on relie la carte Arduino au PC et on transfère le programme sur la carte,
- on peut utiliser le circuit.
- Un programme utilisateur Arduino est une suite d'instructions élémentaires sous forme textuelle, ligne par ligne. La carte lit puis effectue les instructions les unes après les autres, dans l'ordre défini par les lignes de code. [13]

➤ Environnement de la programmation

Le logiciel de programmation de la carte Arduino sert d'éditeur de code (langage proche du C). Une fois, le programme tapé ou modifié au clavier, il sera transféré et mémorisé dans la carte à travers de la liaison USB. Le câble USB alimente à la fois en énergie la carte et transporte aussi l'information ce programme appelé IDE Arduino.

III.6.2.1.1 Structure générale du programme (IDE Arduino)

Comme n'importe quel langage de programmation, une interface souple et simple est Exécutable(Figure III.6).

III.6.2.1.2 Injection du programme

Avant d'envoyer un programme dans la carte, il est nécessaire de sélectionner le type delà carte (Arduino UNO) et le numéro de port USB (COM 3) comme à titre d'exemple cette figure suivante.

Une simple manipulation enchaînée doit être suivie afin d'injecter un code vers la carte Arduino via le port USB (Figure III.5):

- a. On conçoit ou on ouvre un programme existant avec le logiciel IDE Arduino.
- b. On vérifie ce programme avec le logiciel Arduino (compilation).
- c. Si des erreurs sont signalées, on modifie le programme.
- d. On câble le montage électronique
- e. L'exécution du programme est automatique après quelques secondes.
- f. On alimente la carte soit par le port USB, soit par une source d'alimentation autonome (pile 9 volts par exemple).
- g. On vérifie que notre montage fonctionne. [14]

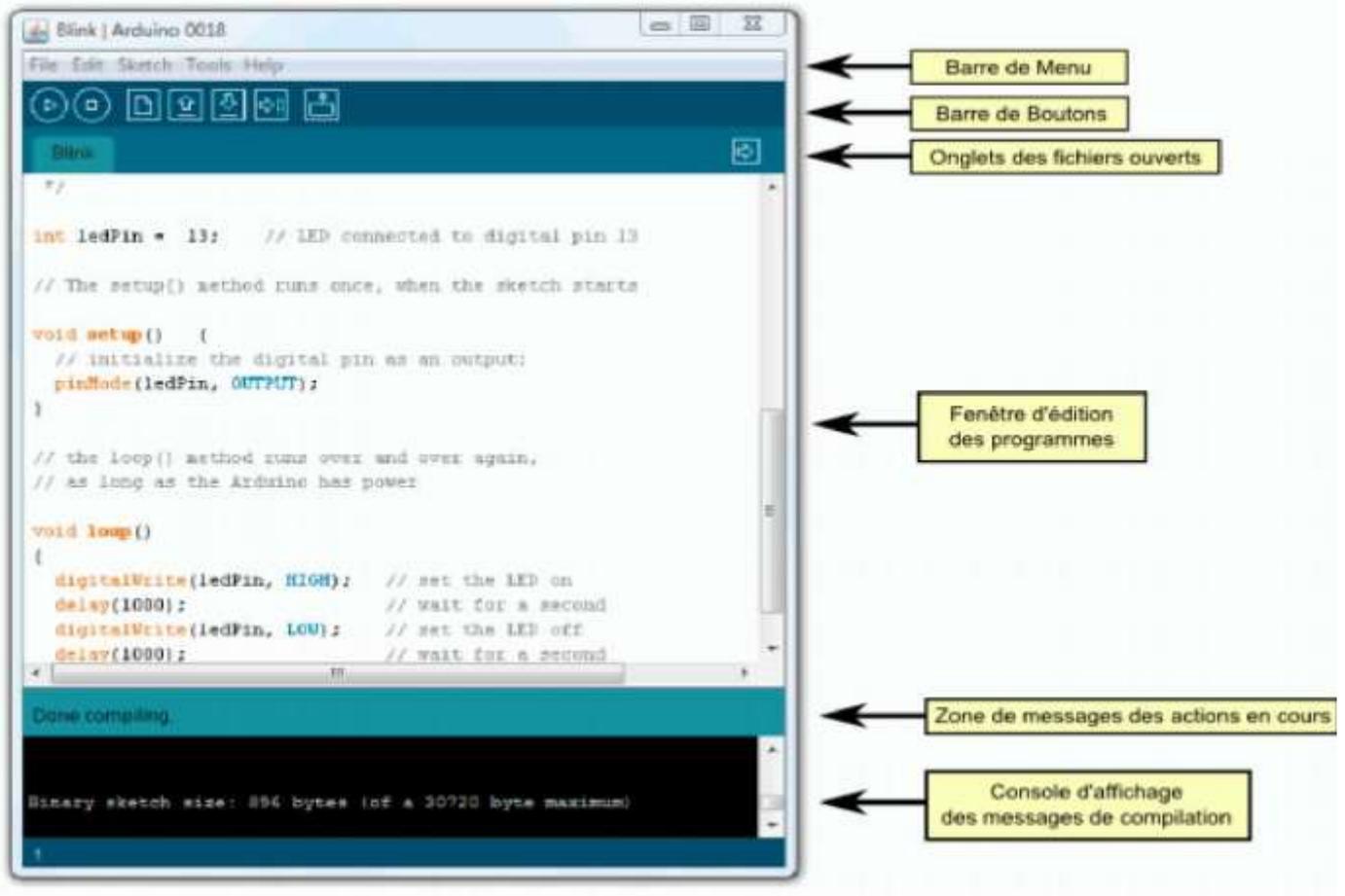


Figure III.6 Interface IDE Arduino

Compiler

m Il Rr m

Si Ml n'y a pas d'erreurs à la compilation, le message « compilation termine » s'affiche suivi de la taille du programme.

Télécharger

mm

Le programme est téléchargé sur Farduino le message « téléchargement Termine » s'affiche une fois le téléchargement terminé.

Telhe binaire du oracnisi)

ooteto c'tr. mm de ;2

oooccs}

••M, «« C ©M?

Figure III.5 Etapes de téléchargement du code

III.7 Conclusion

À travers ce chapitre on peut dire que lors de la conception d'un circuit électronique, si celui-ci nécessite une unité de calcul, l'implantation de celle-ci est soit un assemblage de portes logiques (programmation matérielle), soit un microcontrôleur comme le cas de notre travail (programmation logicielle). Les premiers ont un très faible coût de fabrication s'ils sont produits en très grande quantité.

L'avantage des seconds est qu'ils sont de toute manière fabriqués en masse afin de les rendre le plus accessible possible en réduisant au maximum leur prix, et il suffit d'y embarquer un logiciel pour qu'ils puissent accomplir une tâche spécifique, l'un de ses logiciels est l'arduino, qui représente un logiciel de programmation par code basé sur des cartes électroniques à microcontrôleur open source et qui peut être utilisé pour construire des objets interactifs indépendants (prototypage rapide), ou bien peut être connecté à un ordinateur pour communiquer et superviser en utilisant des logiciels de programmation (flash, labview, etc.).

Chapitre IV

Simulation et réalisation

IV.1 Introduction

L'idée principale de ce travail est de réaliser un robot mobile type tricycle autonome. Il est pourvu d'un système d'évitement d'obstacle .Ce travail comprend plusieurs parties: Commande, mécanique et informatique.

La réalisation de ce robot requiert diverses notions dans plusieurs domaines : électronique, informatique, électrotechnique et mécanique. Appelé brièvement Robotique.

La commande de ce robot est assurée principalement par une carte électronique a base d'un Microcontrôleur ATmega328 « Arduino uno », L'évitement d'obstacle grâce au capteur a ultrason « **HC-SR04** » et Le déplacement par deux moteurs a courant continue.

IV.2 Structure de base du robot

IV.2.1 Actionneurs

Le robot réalise des fonctions mécaniques telles que le déplacement et le positionnement. Le moteur assure la conversion de l'énergie électrique en énergie mécanique.

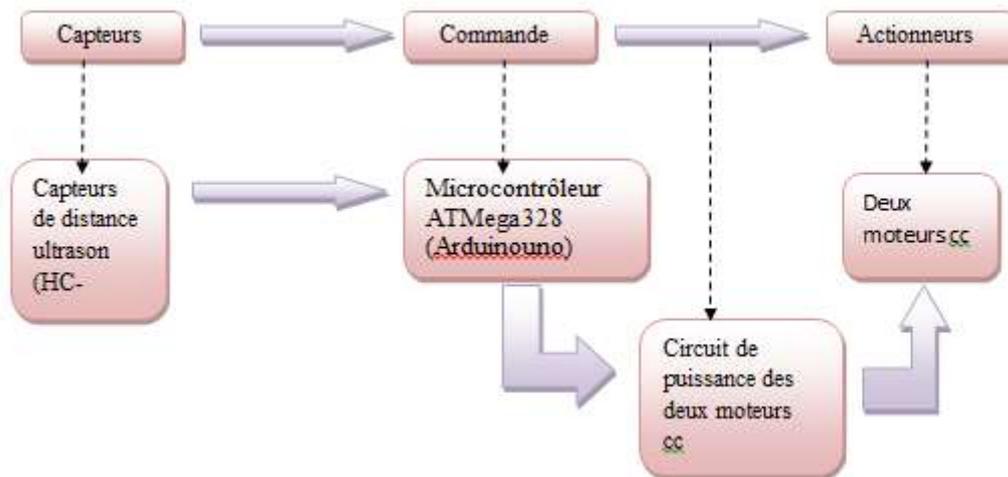


Figure IV.1 Structure générale du robot

Il utilise deux moteurs à courant continu pour actionner les roues.

L'avantage de ces moteurs : le coût abordable, une vibration moindre, faible consommation d'énergie et plus rapide.

➤ Caractéristiques du moteur à courant continu (CC)

La (figure.IV.2) illustre le Kit de notre robot mobile tricycle :

- Fonctionne en 6 Volts DC
- Courant < 240mA
- Vitesse: 230 tour/minutes
- Couple: 0.8 Kgf.cm / 78.45 N.mm / 0.07845 N.m
- RPM (Avec pneu): 100-240
- Diamètre du pneu: 65mm
- Vitesse de la voiture (M / minute): 20-48
- Poids du moteur (g): 29 / pièce
- Taille du moteur: 70mm X 22mm X 18mm
- Bruit: <65dB
- Taille de la roue: 65 x 26mm



Figure IV.2 Kit de Roue avec Moteur à courant

➤ **Connections du moteur cc avec la carte Arduino uno**

La commande d'un moteur avec une carte Arduino uno, nécessite un dispositif capable de générer une intensité suffisante. Les broches peuvent envoyer un courant de 40mA maxi. Ce qui est généralement trop peu pour entraîner un moteur. Les moteurs à courant continu sont de véritables sources de parasites pouvant endommager la carte.

On peut utiliser un type de transistor particulier un MOSFET, qui permet de mettre en marche et de faire varier la vitesse de moteurs à courant continu. Le principe du fonctionnement de ce type de transistor est que lorsque la tension de la Gâte atteint une valeur suffisante, le courant passe entre le Drain et la Source (Figure IV.3). Illustre l'organigramme pour commander le moteur CC.

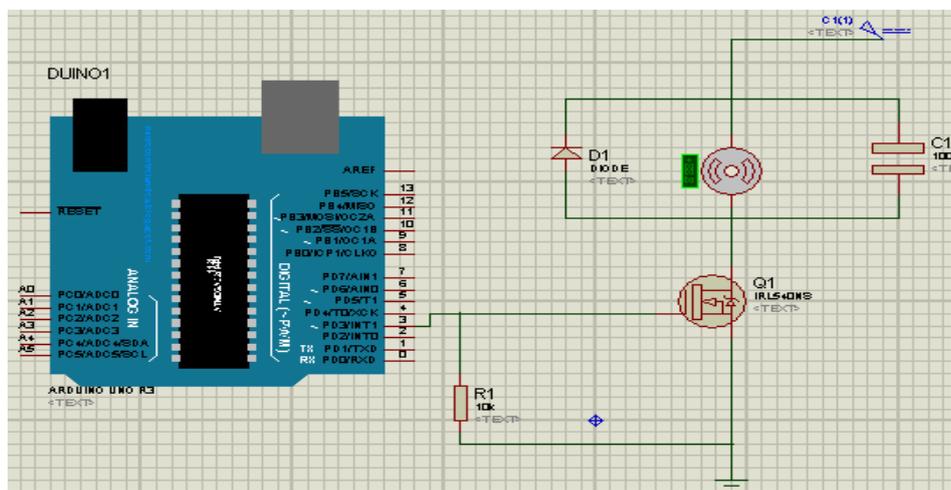


Figure IV.3 Connecter un moteur cc avec la carte Arduino uno

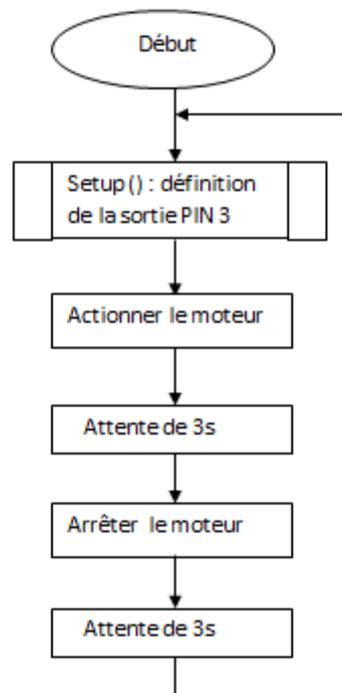


Figure IV.4 Organigramme de commande du moteur CC avec Arduino

➤ Circuit L293D

Pour commander le robot mobile dans les deux sens (droite et gauche ou avant et arrière), nous utilisons le Pont H et au lieu d'utiliser des transistors, il existe des circuits intégrés qui servent de pont en H et qui protègent le circuit et évitent d'avoir à rajouter d'autres composants c'est le L293D.

Les caractéristiques techniques

- Nombre de pont-H: 2
- Courant Max Régime continu: 600mA (x2)
- Courant de pointe Max < 2ms: 1200mA
- VS Max Alim moteur: 36v
- VSS Max Alim logique: 7v
- Nombre de Broches: 16 DIP
- Perte de tension: 1.3v

IV.2.2 Carte de commande

Notre carte de commande se résume par l'utilisation de la carte ARDUINO UNO dont le but est de contrôler les moteurs et la réception des informations des capteurs.

Caractéristiques de la carte Arduino UNO:

- Microcontrôleur : ATmega328
 - Tension de fonctionnement : 5V
 - Tension d'alimentation (recommandée): 7-12V
 - Tension d'alimentation (limites) : 6-20V
 - Broches E/S numériques : 14 (dont 6 disposent d'une sortie PWM)
 - Broches d'entrées analogiques : 6 (utilisables en broches E/S numériques)
 - Intensité maxi disponible par broche E/S (5V) : 40 mA (ATTENTION : 200mA cumulé pour l'ensemble des broches E/S)
 - Intensité maxi disponible pour la sortie 3.3V : 50 mA
 - Intensité maxi disponible pour la sortie 5V : Fonction de l'alimentation utilisée - 500 mA max si port USB utilisé seul
 - Mémoire Programme Flash : 32 KB (ATmega328) dont 0.5 KB sont utilisés par le boot loader
 - Mémoire SRAM (mémoire volatile) : 2 KB (ATmega328)
 - Mémoire EEPROM (mémoire non volatile) : 1 KB (ATmega328)
 - Vitesse d'horloge : 16 MHz
- **Logique de commande**

Cette partie est destinée au circuit de puissance. Ces commandes permettent de fixer le sens de rotation et la vitesse des moteurs. C'est le programme qui assure ces tâches à l'aide des boutons poussoirs et des potentiomètres. L'interface de commande est équipée de deux signaux de commande (PWM) de microcontrôleur l'ATMega328 (ARDUINO UNO), avec les deux boutons on commande les deux moteurs dans les deux sens, et à l'aide du deux potentiomètres nous allons varier leurs vitesses.

Le rapport cyclique α représente le pourcentage de temps pendant lequel $V_s=V_e$. La valeur moyenne de V_s est notée $\langle V_s \rangle$.

On l'obtient par le calcul suivant :

$$\langle V_s \rangle = ((\alpha.T).V_e + (1-\alpha)T.0)/T \quad (IV.1)$$

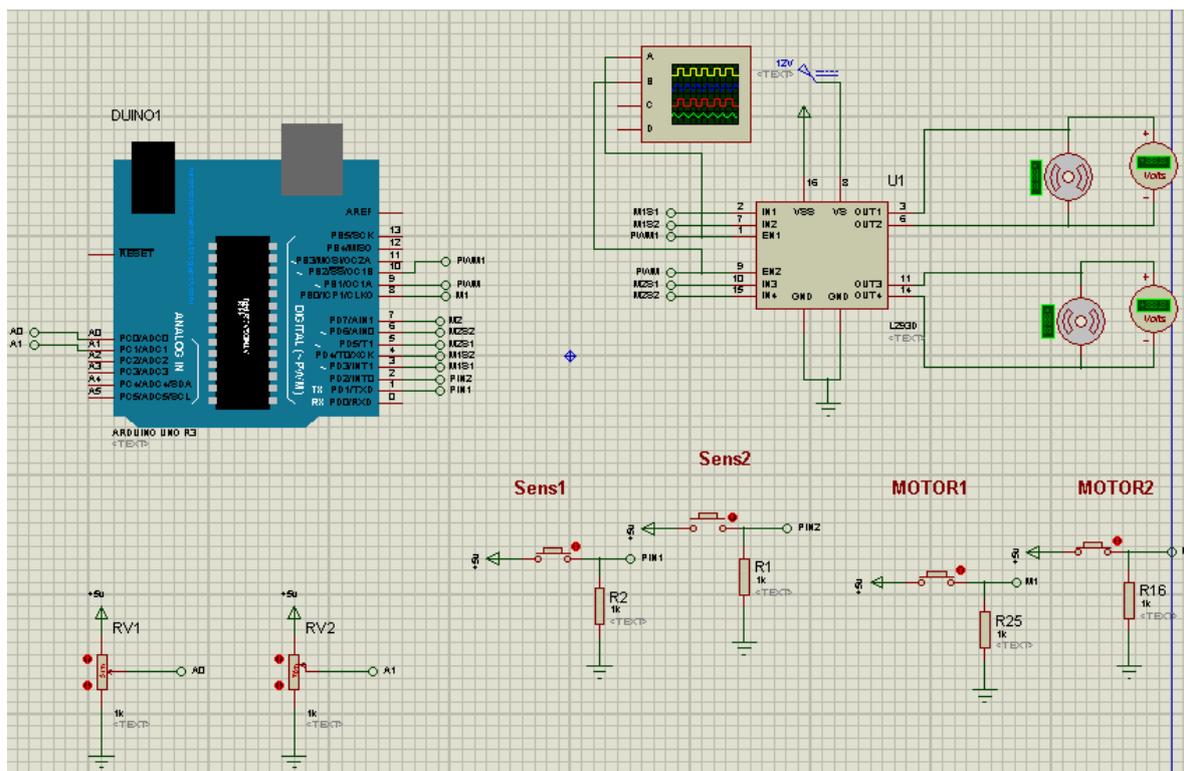


Figure IV.5 Variateur de vitesse d'un robot mobile

En simplifiant:

$$\langle V_s \rangle = \alpha \cdot V_e = E \tag{IV.2}$$

Pour montrer l'importance de la variation de rapport cyclique α sur la variation de la vitesse on prend trois rapports différents.

➤ $\alpha=75\%$

La Figure IV.6 illustre la variation de la Tension de sortie (V_s) en fonction de Temps avec la tension d'entrée $V_e=12v$ donc la tension de sortie $V_s=9v$.

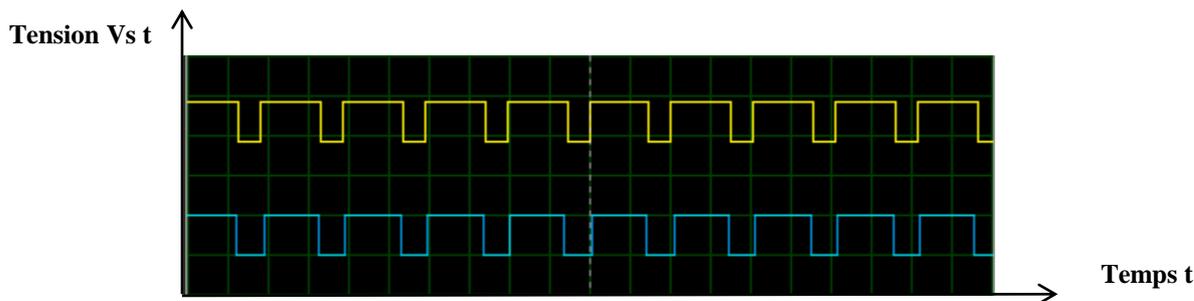


Figure IV.6 : Deux signaux PWM pour $\alpha=75\%$

➤ $\alpha=50\%$

La Figure IV.7 illustre la variation de la Tension de sortie (V_s) en fonction de Temps avec la tension d'entrée $V_e=12v$ donc la tension de sortie $V_s=6v$.

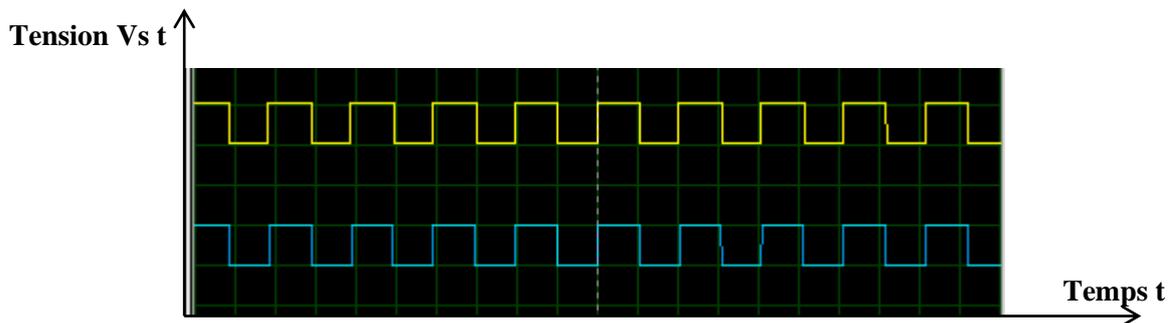


Figure IV.7 Deux signaux PWM pour $\alpha=50\%$

➤ $\alpha=25\%$

La Figure IV.8 illustre la variation de la Tension de sortie (V_s) en fonction de Temps avec la tension d'entrée $V_e=12v$ donc la tension de sortie $V_s= 3v$.

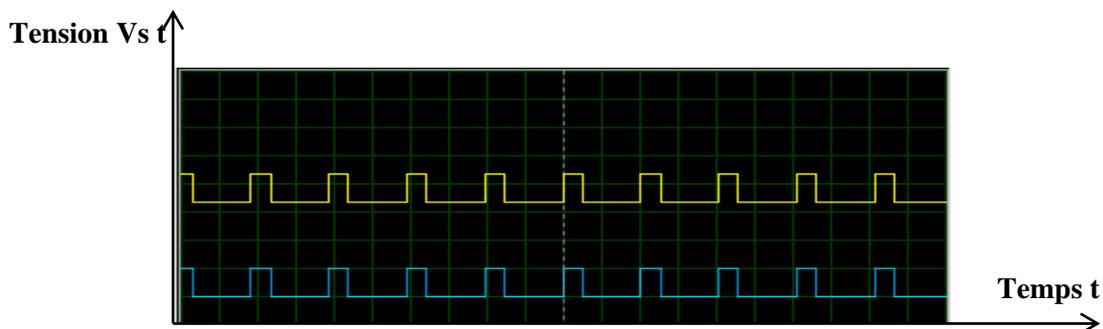


Figure IV.8 Deux signaux PWM pour $\alpha=25\%$

➤ **Analyse des résultats obtenus**

Cette expérience révélée caractéristiques suivantes:

- ✓ La vitesse de rotation d'un moteur à courant continu dépend de sa tension d'alimentation.
- ✓ La variation de rapport cyclique varie la vitesse de moteur à courant continu.
- ✓ On peut inverser le sens de rotation du moteur avec un circuit intégré L293D.
- ✓ Pour changer l'orientation (sens avant ou arrière) du robot, il suffit inverser le signal PWM comme montre la Figure IV.9.

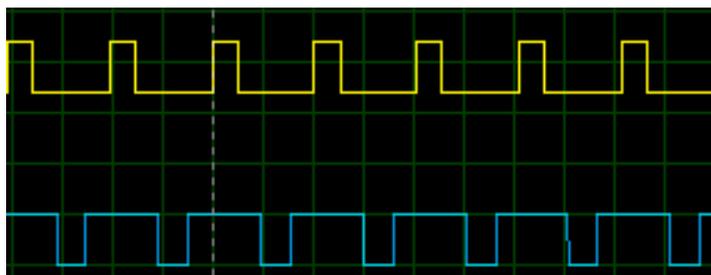


Figure IV.9 SignalPWM2 ($\alpha=75\%$) est inverse du signal PWM ($\alpha=25\%$)

IV.2.3 Circuit de puissance L293D

Les Shields Arduino L293D sont des cartes qui se branchent sans soudures aux cartes Arduino ou à d'autres shields Arduino pour augmenter leurs capacités. Ils comportent 2 puces L293D, drivers de moteurs, et un registre à décalage 74HC595. Celui-ci étend 3 pins de l'Arduino vers 8 pins pour contrôler la direction des drivers de moteurs (**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**).

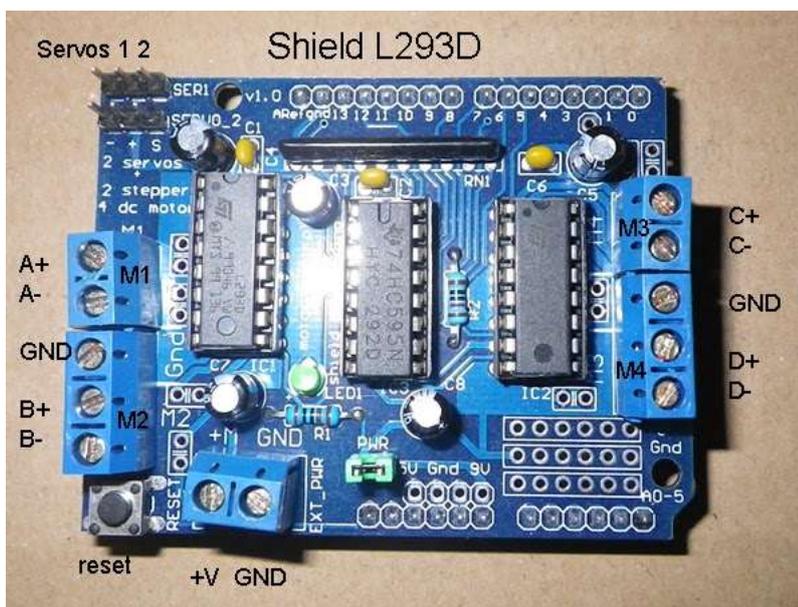


Figure IV.10 Shield motor L293D

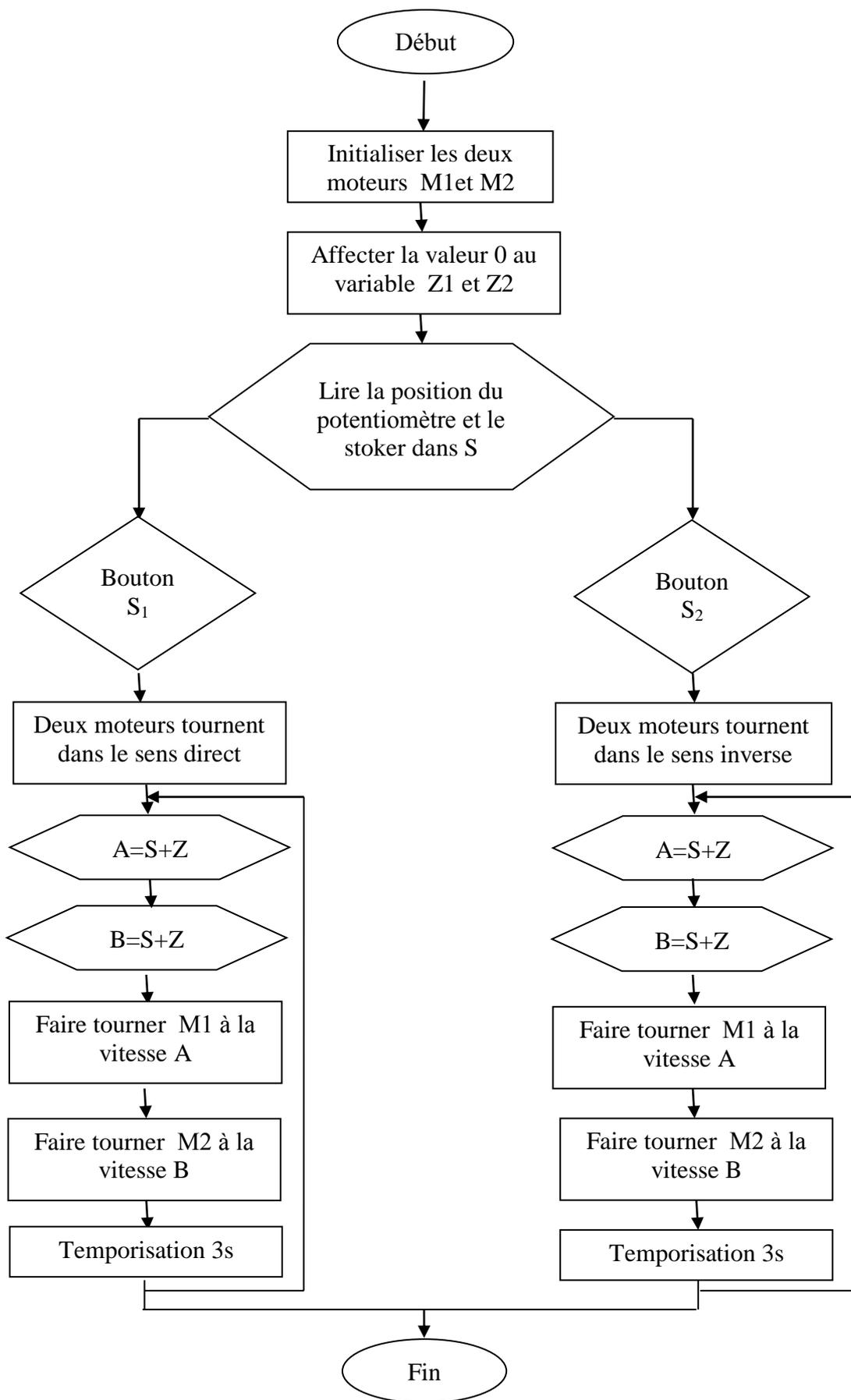


figure IV.11 Organigramme du programme d'un variateur de vitesse

➤ **Caractéristiques techniques**

- L'alimentation des moteurs est possible entre 4.5 V et 36V.
- Il y a 4 canaux de haute tension, haute intensité avec 0.6A par pont (**1.2A** en courant de crête) avec protection thermique.
- Un bouton de reset.
- Des résistances de pull down désactivent les moteurs au cours de la mise sous tension.
- 2 interfaces d'alimentation pour séparer la partie logique de la partie puissance (moteurs)

IV.2.4 Capteurs

Puisque le robot se déplace dans des différents lieux et espaces. Il peut être entraver par les obstacles. L'utilisation d'un capteur de distance devient nécessaire « le capteur ultrason-**SR04**». Ce module a tout ce qu'il faut pour un capteur ultrason en une seule petite pièce. Il dispose de 4 pins de sortie : VCC, TRIG, ECHO, GND. Il est donc très facile de l'interfacer à un microcontrôleur Atmega 328.

Le processus complet est le suivant: Mettre le pin "TRIG" en impulsion de niveau haut (5V) durant au moins 10us et le module démarre sa lecture; A la fin de la mesure, s'il détecte un objet devant lui, le pin "ECHO" passe au niveau haut (5V). La distance où se situe l'obstacle est proportionnelle à la durée de cette impulsion. Il est donc très facile de calculer cette distance avec la formule:

$$D=V*T/2 \quad (IV.3)$$

a. Caractéristiques de capteur HC-SR04

- Tension de fonctionnement : 5V
- Courant de fonctionnement : 15Ma
- Fréquence de fonctionnement : 40Hz
- Distance de détection : de 2cm à 450cm
- Intervalle angulaire de capture : de -7,5° à +7,5
- Signal de détection : impulsion de 10us TTL
- Signal d'écho : sortie TTL PWL

➤ **Etalonnages du capteur HC-SR04**

Dans cet étalonnage on utilise une plaque de bois, séparée du capteur par une distance bien définie. On mesure la distance captée.

Le (Tableau IV.1) illustre les résultats obtenus, Cet étalonnage observe une erreur proportionnelle à la distance Serte le capteur est primordial dans la robotique mais comporte une marge d'erreur.

Tableau IV.1 Résultats du capteur HC-SR04

Distance en (mm)	Mesure	Erreur en (mm)	Erreur en (%)	Temps de parcours en (ms)
100	105	5	5	647
200	208	8	4	1233
300	305	5	1.6	1781
400	395	5	1.25	2327
500	492	2	0.4	3436
700	685	15	2.14	4052
1000	977	23	2.3	6861
1200	1175	25	2.08	6947
1300	1273	27	2.07	7517
1400	1370	30	2.14	8469
1500	1468	32	2.13	9015
2000	1959	41	2.05	10350
2500	2442	58	2.32	15255
4000	3882	118	2.95	177033

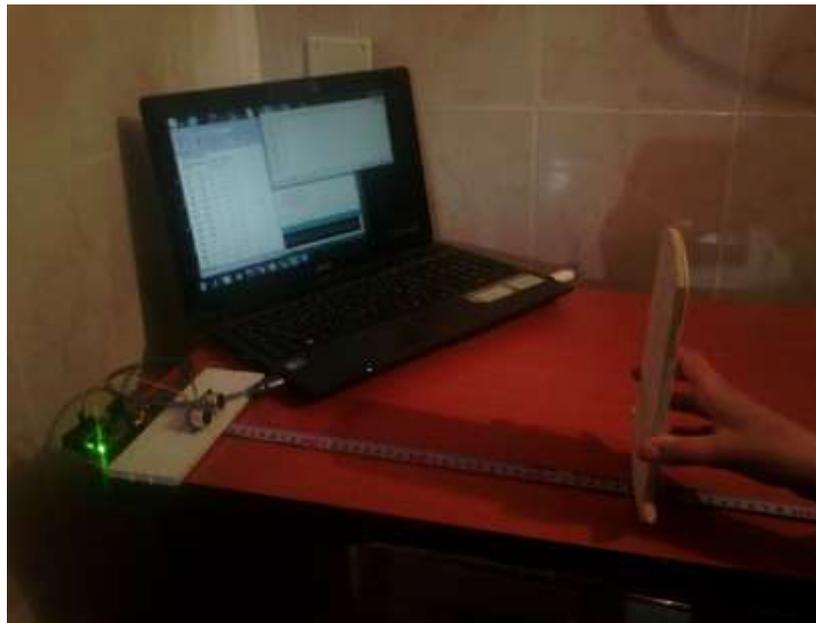


Figure IV.12 Test du capteur ultrason HC-SR04

➤ **Cône de détection du capteur**

Le télémètre à ultrasons HC-SR04 peut détecter des obstacles se situant dans un cône relativement large d'environ 15 degrés. Le robot détecte bien la présence d'un mur situé droit devant lui, mais son champ de vision est beaucoup plus étroit que sa propre largeur (33cm) par conséquent, il s'accroche à des obstacles situés sur les côtés.

La fig.IV.12 représente comment mesurer la distance entre le capteur et l'obstacle, alors La distance qui permet un champ visuelle est de:

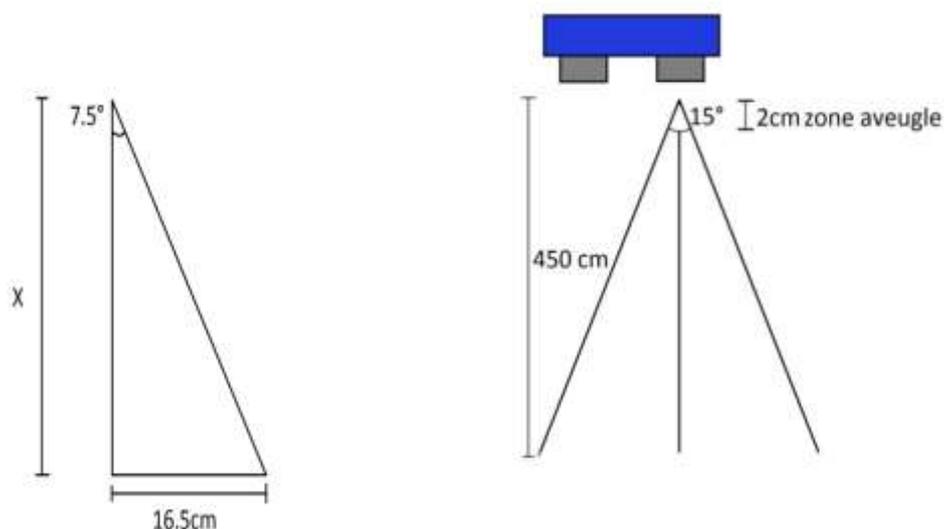


Figure IV.13 Schéma représente la mesure de la distance

$$x = \frac{\text{tang}7.5}{16.5} \tag{IV.4}$$

L'obstacle doit être au minimum à 130cm pour couvrir la largeur du robot. Nous avons confirmation par notre propre expérience (Figure IV.13)

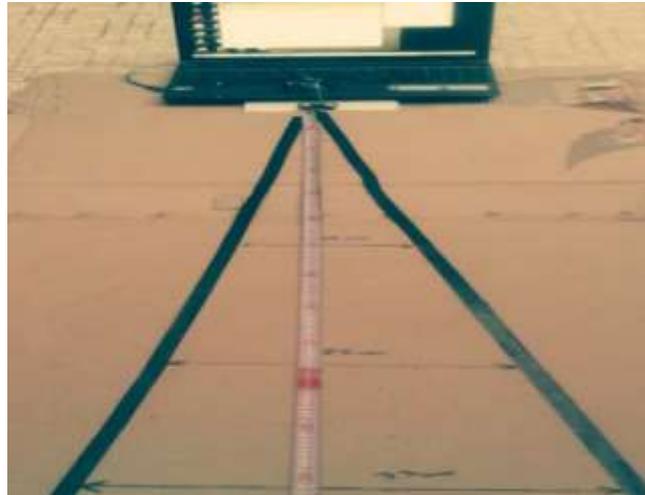


Figure IV.14 Champ visuel du capteur ultrason

a. Sous-programme détection d'obstacle

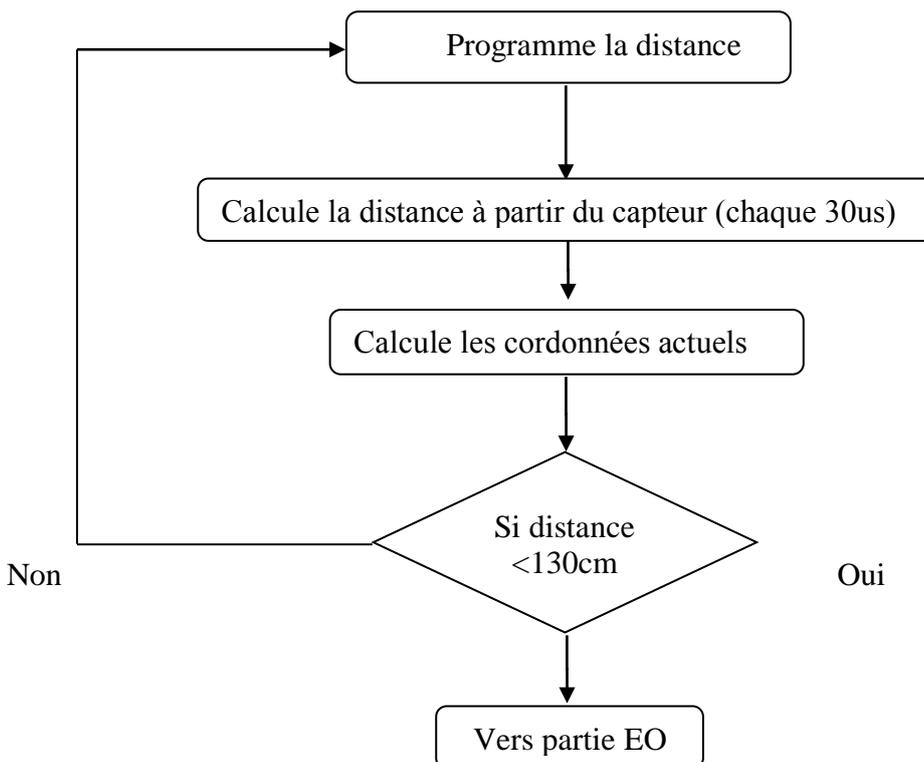


Figure IV.15 Organigramme de détection d'obstacle

a. Sous-programme évitement d'obstacle

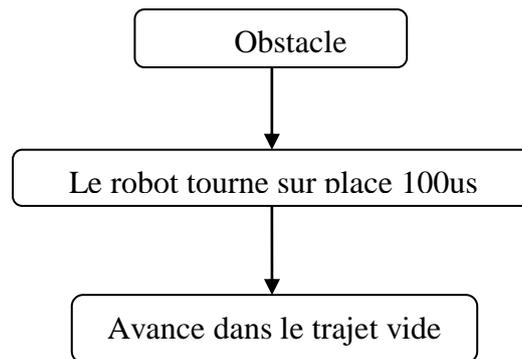


Figure IV.16 Organigramme d'évitement d'obstacle

IV.3 Mesure du Vitesse de rotation

La vitesse de rotation du moteur est mesurée par un ensemble constitué d'un disque percé de 50 encoches et d'un capteur optique à fourche (Figure IV.17). Dans le capteur, une LED émet un flux lumineux infrarouge. Un phototransistor reçoit le flux lorsque celui-ci passe à travers l'encoche. Après son adaptation du signal (circuit électronique alimenté en 5V), on récupère une tension rectangulaire avec un rapport cyclique de 50%. La période du signal varie en fonction de la vitesse du moteur

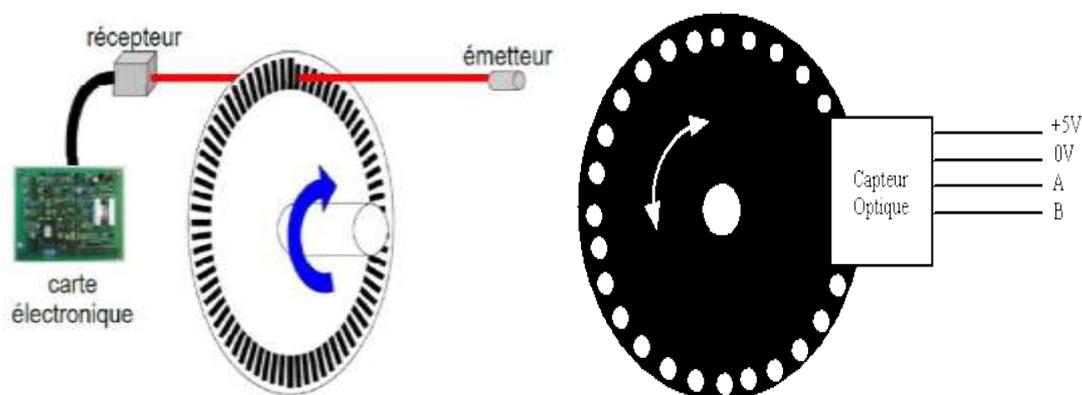


Figure IV.17 Encodeur de vitesse: Représentation schématique



Figure IV.18 Encodeur de vitesse

❖ Caractéristique du capteur de vitesse FC-03

- Alimentation: 3,3 à 5 Vcc
- Amplificateur: LM393
- Brochage: 5Vcc, GND, OUT1 et OUT2
- Ouverture: 5 mm
- Dimensions: 32 x 15 x 13 mm

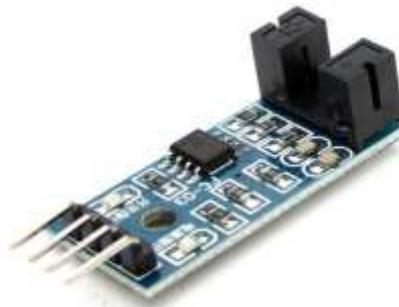


Figure IV.19 Module compteur de vitesse EC03

IV.4 Composants du robot

- Carte Arduino Uno
- Shields moteur L293D
- ultrasons HC-SR04
- DC moteur x2
- Titulaire pour HC-SR04
- Servomoteur

- Fils
- Batterie 9V
- Bouton
- Chassis plate

IV.4.1 Le chassis

Il est en plexi-glasse, matière avec des caractéristiques facilitant l'ouvrage : léger, résistant, facile a percer, maniable et isolant. (figure III.20)

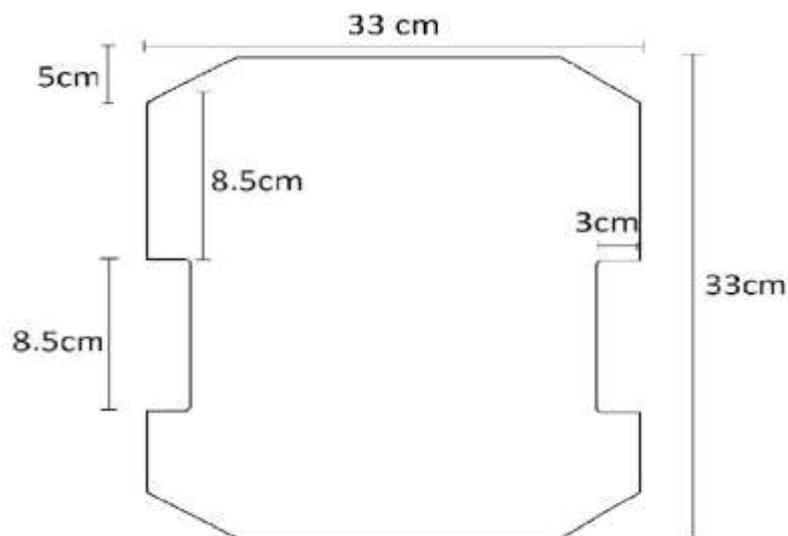


Figure IV.20 Dimension du chassis

IV.4.2 Localisation des composants

Les roues fixés sur les flancs (gauche et droit) du chassis. La troisieme roue en avant et au

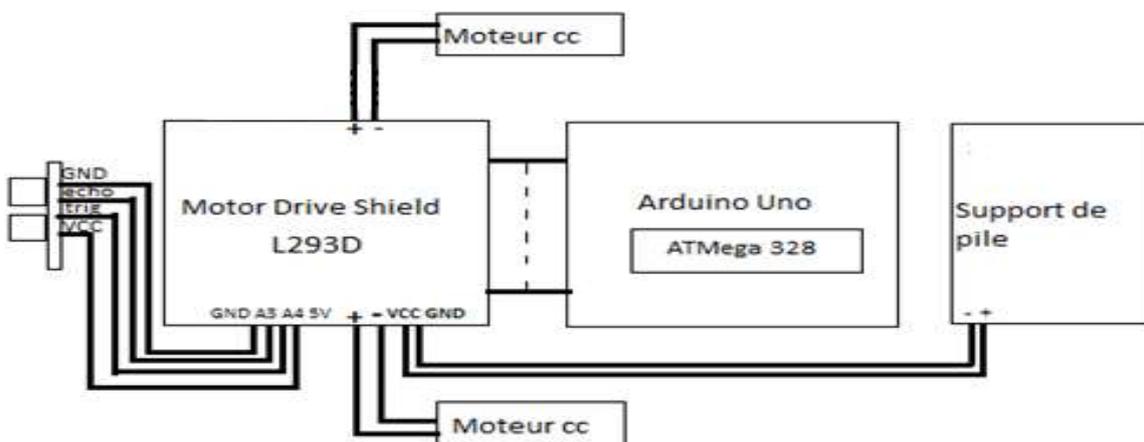


Figure IV.21 Emplacement des composants est leur connexion

milieux formant un tricycle.

Chacune des roues arrière est fixée au moteur. Les deux moteurs sont maintenus par des supports attachés au châssis. Au centre et en avant l'arduino. Au centre et en arrière les batteries. Les deux capteurs en avant et en arrière. Les deux roues motrices comportent un encodeur.

IV.5 Conclusion

Dans ce dernier chapitre, nous avons explicité les différentes étapes qui ont permis de réaliser ce robot. Il comporte trois parties : la commande (carte Arduino, L293D, capteurs ...etc.), la mécanique (moteur, mécanisme, ...etc.) et la programmation

Conclusion Générale

L'objectif de notre travail est la réalisation d'un robot mobile type tricycle suivi une trajectoire et détection les obstacles en utilisant des capteurs de distances (ultrason).

Pour réaliser ce travail, on a passé par différentes étapes

On a utilisé un capteur ultrasonique pour la détection des obstacles et le calcul de la distance entre le robot et l'obstacle. Le robot réalisé se constitué de deux roues fixes placées sur un même axe et d'une roue centrée orientable. Nous avons utilisé ce type de moteur pour la précision dans le déplacement et la rotation vers la cible.

L'ensemble de système de perception et de déplacement est commandé par un microcontrôleur ATmega328 (arduino uno) qui doit utiliser les informations actuelles, décider l'action à prendre.

Ce travail nous a permis de traiter des problèmes d'ordre pratique et de vérifier des connaissances théoriques acquises toute le long de notre formation.

Grâce au travail continu, on a peu atteindre notre but et satisfaire le cahier de charge, mais cela ne veut pas dire qu'il est complet, nous proposons que le robot réalise soit la base de toute une série d'améliorations que nous n'avons pas eu la chance de les faire par manque de temps et de matériel. Le nombre d'améliorations que peuvent titre ajoutés sont :

- Utilisation de capteurs plus performants comme les capteurs laser ou les caméras et d'utilisé plus de capteurs ou un plateau de capteurs rotatif pour découvrir l'environnement du robot.
- L'utilisation des capteurs photosensible d'une surface plus précis ou un programme plus intelligent.
- L'utilisation d'un microcontrôleur de nouvelle génération comme le μ C Atmel (atmega).

Bibliographie

- [1] A. HAJ Brahim. A. ALLOUI, «*Proposition d'une solution multi-agent pour la commande et la coopération multi -robot mobile*». Mémoire d'ingénieur d'état en automatique. Université Biskra, Juin 2007.
- [2] M. GHAOUI., « *Planification d'un mouvement pour un robot mobile*» Thèse de magister. université de Batna, 1997.
- [3] A. DJOKHRAB. M. Dou, « *Commande D'un Robot Mobile Type Voiture Par Réseaux de Neurones*». Mémoire d'ingénieur d'état en automatique. Université Biskra, Juin 2005.
- [4] A. PRUSKI., *Robotique générale*, Edition Ellipase ed., 1988.
- [5] F.ABABSA, « *Commande d'un robot mobile par IBM-PC*» Thèse de magister, 1998.
- [6] S. MERROUCHI. : S. YAHIAOUI, «*Planification de mouvement d'un robot mobile*» Mémoire d'ingénieur d'état en électronique. Université Batna , Juin1997.
- [7] B. BAYLE., *Robotique Mobile*. Ecole Nationale supérieur de Strasbourg, France, 2008-2009.
- [8] Y. CHALA. A. AMRAOUI, « *Réalisation D'un Robot mobile commandé à distance* » Mémoire d'ingénieur d'état en électronique. Biskra, Juin 2010.
- [9] A.ABDERRAHMAN, : M. MOHAMMED, « *Automatisation et Réalisation a petite echelle (maquette) d'une chaine transporteuse de briques* ». université chlef.
- [10] Asservissements visuel et chiurgie robotisée Jacques Gangloff, ,*Mémoire pour l'obtention de l'habilitation a dirigés des recherches (Spécialité Robotique)*., Décembre 2004.
- [11] « Manuel libres pour logiciel libres » livre arduino. www.flossmanualsfr.net date 22-12-2011.
- [12] J.N Montagné, « *livret arduino en français* », par centre de ressources art sensitif, sous licence., novembre 2006.
- [13] A. SHARED, « *Cour Arduino chapitre I: Découverte de l' Arduino*». Université de Sousse Tunisie.
- [14] B.Elbay K. Med Lamine, « *Etude et Réalisation d'une Carte d'acquisition pour les sigaux physiologiques*» ,. université OURGLA, 25-05-2016.