

RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE

UNIVERSITÉ MOULOUD MAMMERRI DE TIZI-OUZOU



FACULTÉ DE GÉNIE ÉLECTRIQUE ET D'INFORMATIQUE
DÉPARTEMENT D'ÉLECTRONIQUE

**Mémoire de Fin d'Études
De MASTER ACADEMIQUE**

Domaine : **Sciences et Technologies**

Filière : **Électronique**

Spécialité : **Électronique d'instrumentation**

Thème :

*Étude et réalisation d'un robot
détecteur d'incendies et d'obstacles*

Mémoire soutenu publiquement le 27/06/2024 devant le jury :

Mr Mohia Yacine

Président

Mme Salem Dalila

Reportrice

Mme Oudjemia Souad

Examinatrice

Présenté par

Encadré par Mr

KHELOUI MASSINISSA

ATTAF YUCEF

LAZIZI OUMAMA

Promotion 2023/2024

Remerciements

Je tiens tout d'abord à remercier le Dieu tout puissant, qui nous a donné la force et la patience d'accomplir ce projet de fin d'étude.

Je remercie mon promoteur Mr ATTAF YUCEF pour son aide et ses conseils durant l'élaboration de ce projet.

Je remercie également les membres de jury qui feront l'honneur de juger notre travail, d'apporter leurs réflexions et suggestions scientifiques.

Nos remerciements les plus chaleureux vont à nos chers parents pour leurs encouragements, leur patience et leur grand soutien durant toutes ces années d'études.

Nos profondes gratitude vont à nos frères, sœurs, amis(e) qui ont contribué de Près ou de loin à notre réussite.

Dédicaces

On dédie ce modeste travail

A nos parents pour leur amour inconditionnel, leur soutien constant, merci de nous avoir toujours encouragé pendant toute notre vie, merci de nous avoir supporté, veillé sur nous, merci de nous avoir donné les moyens pour poursuivre nos objectifs, quoi qu'on fasse quoi qu'on dise on ne pourra jamais vous remercier assez, on vous aime.

A nos sœurs, nos frères pour leurs soutient et leurs efforts pour rendre ce projet réalisable.

A tous nos amis de près ou de loin pour leurs amitiés sincères, et leurs conseils, à tous ceux qui ont fait partie de notre vie un jour.

On vous aime

Massi et Oumama

Abstract

Our work involves the design and development of a three-wheeled mobile robot capable of detecting either fires or obstacles. This robot is equipped with an electronic card, Arduino, which will be connected to the robot after developing the program in Arduino software and an Android application that allows us to control the robot remotely in two modes: manual or automatic via Bluetooth.

Keywords: Mobile robot, Arduino Uno, Android system, Autonomous robot, Fire detector, Obstacle detector - Bluetooth, MI Inventor, L298N module.

Liste des figures

Chapitre 1

Figure I.1 : Les premiers mécanismes.

Figure I.2 : les premières horloges à eau

Figure I.3 : Canard digérateur de Vaucanson 1738

Figure I.4 : les premières réalisations dans la cybernétique.

Figure I.5 : Evolution technologiques des Rovers.

Figure I.6 : Serpent de Miller 1995.

Figure I.7 : Progrès des drones.

Figure I.8 : Degrés de liberté du robot (x, y, θ) .

Figure I.9 : constituants matériels d'un robot.

Figure I.10 : Architecture du fonctionnement générale d'un robot.

Figure I.11 : Structure d'un robot manipulateur.

Figure I.12 : Structure générale d'un robot industriel.

Figure I.13 : Robot sériel.

Figure I.14 : Robot parallèle.

Figure I.15 : Plateforme d'un robot mobile.

Figure I.16 : Architecture d'un robot mobile.

Figure I.17 : Schéma d'un robot uni cycle.

Figure I.18 : Robot mobile tricycle.

Figure I.19 : Robot de type voiture.

Figure I.20 : Schéma d'un robot mobile omnidirectionnel.

Figure I.21 : Robots mobiles à chenilles.

Figure I.22 : Un robot volant.

Figure I.23 : Robot marcheur monopède.

Figure I.24 : Robot marche bipède.

Figure I.25 : Robot marcheur quadrupède

Figure I.26 : Robot marcheur hexapode

Figure I.27 : Schéma synoptique des organes de sécurité

Figure I.28 : Robot industriel.

Figure I.29 : Robot tueur.

Figure I.30 : Un robot assistant.

Figure I.31 : Un robot engouffrant la neige de la rue avec sa bouche.

Figure I.32 : Robot agricole.

Figure I.33 : Robot Assimo de service.

Figure I.34 : Robot dessinateur

Chapitre II

Figure II.35 : La carte Arduino

Figure II.36 : Les constituants de la carte Arduino

Figure II.37 : Sorties analogiques

Figure II.38 : Microcontrôleur ATmega328p

Figure II.39 : Configuration des broches d'atmega328p.

Figure II.40 : Moteur pas à pas

Figure II.41 : Les trois types de moteurs pas à pas

Figure II.42 : Moteur pas à pas biphasé (bipolaire)

Figure II.43 : Schéma de conversion électromécanique d'énergie

Figure II.44 : Moteur courant continu

Figure II.45 : Signaux PWM avec différents cycles d'utilisation

Figure II.46 : Les Roues du robot mobile

Figure II.47 : La plate-forme du robot du robot

Figure II.48 : Servomoteur de type SG90

Figure II.49 : Représentation des composants du servomoteur

Figure II.50 : Le relais (JQC-3FF-S-Z)

Figure II.51 : Photo réelle de la mini pompe submersible

Figure II.52 : Principe de fonctionnement d'un capteur

Figure II.53 : Architecture d'un robot

Figure II.54: Photorésistance et symbole

Figure II.55 : Capteur Ultrasons de type HC-SR04

Figure II.56 : Fonctionnement du capteur HC-SR04

Figure II.57 : Capteur de flamme

Figure II.58 : Carte de contrôle des moteurs « L298N »

Figure II.59: Ponts en H pour contrôler le sens de rotation d'un moteur

Figure II.60: Module Bluetooth HC_05

Chapitre III

Figure III.61 : Exemple de câblage du module Bluetooth HC-05 avec Arduino

Figure III.62 : Organigramme de fonctionnement du module HC05

Figure III.63 : Câblage du capteur HC-SR04

Figure III.64: Organigramme du fonctionnement du capteur ultrason

Figure III.65 : Câblage de Capteur de flamme

Figure III.66 : Organigramme du fonctionnement du capteur de flamme

Figure III.67: Câblage du module L298N avec deux moteurs DC sous Arduino

Figure III.68: Composants du module de pilotage de moteurs L298N

Figure III.69: Organigramme de fonctionnement du L298N avec deux moteurs D

Figure III.70 : Schéma de câblage du servomoteur

Figure III.71 : Les angles de rotation d'un servomoteur

Figure III.72: Schéma de câblage du la pompe à eau

Figure III.73: les piles utilisées dans notre robot

Figure III.74 : Application Androïde pour commande le robot

Figure III.75 : Le programme de l'application Androïde

Figure III.76 : Vue globale de notre robot

Figure III.77: Le comportement du robot en mode obstacle

Figure III.78: L'organigramme du fonctionnement

Figure III.79: L'organigramme du fonctionnement du robot en mode flamme

Figure III.80 : Schéma de câblage général de notre robot

Figure III.81 : Interface de contrôle du robot sur Smartphone

Figure III.82: Photos montrant les essais appliqués pour notre robot

Listes des tableaux

Chapitre I

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

Tableau I.2 : Différentes applications des robots

Chapitre II

Tableau II.3 : Caractéristiques de la carte Arduino Uno

Tableau II.4 : Spécifications techniques de la pompe

Liste des abréviations

DOF : Degrees Of Freedom (Degrés de liberté)

GPS : Global Positioning System (système de positionnement global)

UGV : Usinage grande vitesse

CISC : Complex Instruction Set Computer (Ordinateur à jeu d'instructions complexes)

TQFP : Thin Quad Flat Package (Emballage plat mince quadruple)

SPI : Serial Peripheral Interface (Interface périphérique série)

DAC : Digital Analog Converter (convertisseur analogique numérique)

COM : Common Terminal (Borne commune)

TTL : Time-to-live (Temps de vivre)

LDR : Light Dépendent Résistor (résistance dépendant de la lumière).

NASA : National Aeronautics and Space Administration (Administration nationale de l'aéronautique et de l'espace).

USB: Universal Serial Bus.

Pin: Broche.

WIFI: Wireless Fidelity.

VCC: Common Collector Voltage (Alimentation tension continue).

RX: Receiver (réception).

TX: Transmitter (transmission).

GND: Ground (la masse).

MCC : Moteur à courant continue.

PWM : Pulse Width Modulation (Modulation par largeur d'impulsions).

LED : Light Emitting Diode.

Timer : Délai.

Int a, Int b : Input (broche).

BP : Bouton poussoir.

IDE : Integrated Development Environment (Environnement de développement intégré).

Table des matières

Remerciements	
Dédicaces	
Liste des figures	
Liste des tableaux	
Liste des abréviations	
Table des matières	
Introduction	1

Chapitre I : Généralités sur les robots

I.1 Préambule.....	3
I.2 Historique de la robotique.....	3
I.3 Termes et définitions générale.....	7
I.4 Constituants d'un robot.....	9
I.5 Principe de fonctionnement général d'un robot	11
I.6 Caractéristiques général d'un robot.....	12
I.7 Loi de la robotique.....	13
I.8 Types des robots	13
I.8.1 Robot manipulateur.....	13
I.8.1.1 Définition.....	13
I.8.1.2 La structure mécanique et la motricité.....	15
I.8.1.2.1 Robots sériels.....	15
I.8.1.2.2 Robots parallèles.....	16
I.8.2 Robot mobiles	17
I.8.2.1 Définition	17
I.8.2.2 l'architecture des robots mobiles	18
I.8.2.3 Types des robots mobiles.....	19
I.8.2.4 Mode de fonctionnement d'un robot mobile.....	25
I.8.2.5 Organe de sécurité.....	26
I.8.2.6 Les avantages et les inconvénients des robots mobiles.....	27
I.9 Domaine d'application des robots mobiles.....	28
I.10 Traitement des informations et gestions de taches.....	33
I.11 Discussion.....	34

Chapitre II : Conception matérielle et logicielle

II.1 Préambule.....	36
II.2 Description de la partie matérielle.....	33
II.2.1 Arduino.....	36
II.2.1.1 Définition.....	36
II.2.1.2 Constituants de la carte Arduino	38
II.2.1.2.1 Microcontrôleur.....	39
II.2.2 Actionneurs.....	40
II.2.2.1 Définition	40
II.2.2.2 Moteur pas à pas	40
II.2.2.3 Moteur à PM biphasé.....	41
II.2.2.4 Moteur à courant continu	42
II.2.2.4.1 Constitution d'un MCC.....	42
II.2.2.4.2 Contrôle de vitesse du MCC.....	43
II.2.2.5 Les roues	44
II.2.2.6 Le châssis.....	45
II.2.2.7 Le servomoteur de type SG90.....	46
II.2.2.8 Relais (JQC-3FF-S-7).....	47
II.2.2.9 Pompe.....	48
II.2.3 Capteurs	50
II.2.3.1 Définition.....	50
II.2.3.2 Classification d'un capteur.....	51
II.2.3.3 Photorésistance.....	52
II.2.3.4 Capteur ultra-son de type HC-SR04.....	53
II.2.3.5 Capteur de flamme.....	55
II.2.4 Double pont HL 298N.....	56
II.2.4.1 Le pont en HL298N.....	57
II.2.5 Bluetooth.....	58
II.2.5.1 Définition	58
II.2.5.2 Présentation du module Bluetooth HC-05.....	59
II.3 Discussion.....	60

Chapitre III : Mise en œuvre du robot Résultats et essais

- III.1 Préambule62**
- III.2 Les éléments utilisées pour le fonctionnement de notre robot.....62**
- III.3 Réalisation matérielle.....63**
 - III.3.1 Branchement de la communication Bluetooth HC-05/Arduino.....63**
 - III.3.2 Branchement du capteur ultra-son HC-SR04.....66**
 - III.3.3 Capteur de flemme67**
 - III.3.4 Le module L298N.....70**
 - III.3.4.1 Principe de fonctionnement du circuit L298N.....70**
 - III.3.5 Commande des moteurs70**
 - III.3.5.1 Utilisation de L298N pour commander le MCC.....70**
 - III.3.5.2 Le branchement de L298N.....71**
 - III.3.6 Servomoteur.....74**
 - III.3.7 Branchement de la pompe à eau75**
 - III.3.8 Batterie76**
- III.4 Partie commande77**
 - III.4.1 Application Android.....77**
 - III.4.1.1 Commande à distance du robot via Bluetooth.....77**
 - III.4.1.2 Configuration de l’application via Bluetooth.....78**
- III.5 Réalisation du robot79**
 - III.5.1 Fonction du robot83**
 - III.5.2 Schéma de câblage final du robot87**
 - III.5.3 Mode de télécommande du robot.....88**
- III.6 Test et essais.....89**
- III.7 Discussion.....92**
- Conclusion.....95**
- Références bibliographiques.....**

Introduction

Introduction

La robotique est une activité qui vise l'étude, la conception et la construction de robots ou plus simplement de machines automatiques. Un robot est un appareil effectuant, grâce à un système de commande automatique à microprocesseur, une tâche précise pour laquelle il a été conçu dans divers domaines notamment la protection civile.

La prévention et la gestion des incendies représentent un enjeu crucial pour la sécurité des personnes et des biens. Chaque année les incendies causent des milliers de victimes d'importants dégâts matériels et des impacts environnementaux significatifs. La rapidité et l'efficacité de la détection des incendies sont primordiales pour minimiser les pertes et maximiser les chances de maîtriser le feu.

Le but de ce mémoire est la conception et réalisation d'un robot mobile télécommandé à distance par Bluetooth avec la possibilité d'être autonome. Pour le réaliser on a utilisé une carte Arduino UNO comme composant cœur avec des organes de perception (capteurs) et de locomotion (moteurs), ainsi qu'un moyen de communication par voie Bluetooth qui offre un moyen de contrôle à distance, ou on peut trouver le choix de deux modes de détection :

- Mode 1 : détection d'incendies

Ou bien

- Mode 2 : détection d'obstacles

Ce travail est alors organisé en trois chapitres de la manière suivante :

- Chapitre I qui représente les Généralités sur les robots
- Chapitre II est basé sur la description matérielle et logicielle du robot
- Chapitre III est consacré pour la réalisation et mise en œuvre du robot avec des tests et essais.

Nous terminerons ce manuscrit par une conclusion générale récapitulant ce qui a été fait et expose les perspectives de ce travail

Introduction

Chapitre I : Généralités sur les robots

I.1 Préambule

Avec le Progrès du monde qui nous entoure, et l'augmentation des besoins humains, il est parfois difficile d'accomplir plusieurs tâches du fait de leurs pénibilités. Afin de pallier ce manque l'homme a été obligé de trouver une solution alternative qui est le robot.

La robotique donc est l'automatisation des systèmes mécaniques. Le système a des capacités de perception d'action et de décision. L'objectif est de lui permettre d'interagir de façon autonome avec son environnement. Elle fait partie du domaine de recherche pluridisciplinaire englobant l'intelligence artificielle, l'automatique, l'informatique et la perception par ordinateur.

Dans ce chapitre nous allons donner quelques définitions concernant les robots et notions clés qui sont primordiales dans le domaine de la robotique.

I.2 Historique de la robotique

La notion de robot, ou d'automate, remonte à l'époque médiévale. La robotique est passée par plusieurs générations et domaines comme suit : [1]

- **Les premiers mécanismes**

Apparue vers 3500 av. J-C. la roue est considérée comme le premier ouvrage technique significatif de l'histoire de l'humanité, que ce soit pour les tours de potiers ou pour le transport.

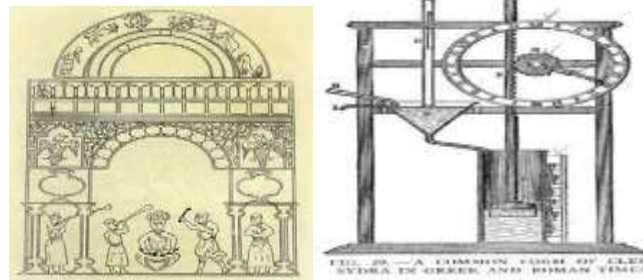


2600 av. J-C Roue Sumérienne. [1] 1000 AV. J-C Roue de l'âge du fer. [1]

Figure I.1 : Les premiers mécanismes

- **L'horlogerie**

Les clepsydes (horloges à eau) furent probablement inventées vers 1600 av. J-C. en Egypte. De simples bols percés dont l'écoulement régulier permettait une mesure rudimentaire du temps, elles furent perfectionnées en Grèce quelques siècles avant Jésus Christ, avant de constituer de véritables automates sophistiqués sous les civilisations chinoises et arabes du premier millénaire. [1]



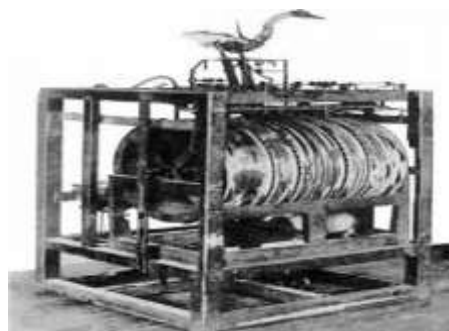
Clepsydre d'Al-Jazar 1100 An [1]

Clepsydre Greco-Roman 1090 An

Figure I.2: les premières horloges à eau

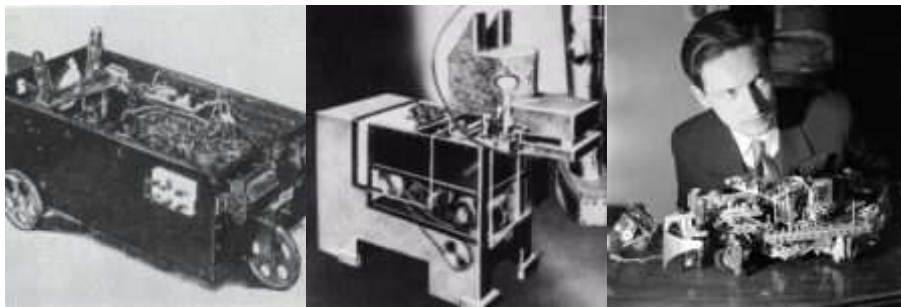
- **Les automates**

Un des automates les plus surprenants est certainement le canard digérateur de Jacques de Vaucanson (1738). Capable de boire, manger, et digérer comme un véritable animal, il fut malheureusement détruit dans un incendie au milieu du XIXème siècle et il n'en reste que des photographies. [1]

**Figure I.3 :** Canard digérateur de Vaucanson 1738

- **La cybernétique**

Les automates autorégulés forment la base de la cybernétique. Ici les automates ne se contentent pas d'effectuer des mouvements préprogrammés, mais interagissent avec leur environnement, qui les gouverne. Quelques exemples : Le chien électrique de Hammond et Miessner (1915) se guide à la lumière, tout comme Philidog, le chien de Henri Piraux (1928) et le renard de Ducrocq (1953). [1]



Le chien électrique de Philidog 1928. Hammond et Missner 1915. Le renard du ducrocq 1953.

Figure I.4 : les premières réalisations dans la cybernétique

- **L'intelligence artificielle**

Dans la droite ligne de la cybernétique, l'objectif de rendre les machines intelligentes a mené Alan Turing à définir en 1950 une méthode afin de tester la présence d'une conscience ou d'une intelligence au sein d'une machine. C'est le test de Turing, discuté de nos jours, mais certainement fondateur dans le domaine de l'intelligence artificielle. [1]

- **Les rovers**

Véhicules destinés à explorer la surface de planètes de façon quasiment autonome, effectuer des mesures et prélever des échantillons, les rovers (ou automobiles) furent développés par les russes dès les années 1960, tel le Lunokhod 1 qui a été envoyé par l'Union Soviétique a voyagé sur distance de 10 km et a transmis plus de 20 000 images. La Nasa développa aussi des rovers à partir de 1970 dans le cadre du programme Apollo, et Sojourner explora la planète Mars en 1997 et Curiosity en 2012. [1]



Lunokhod 1969

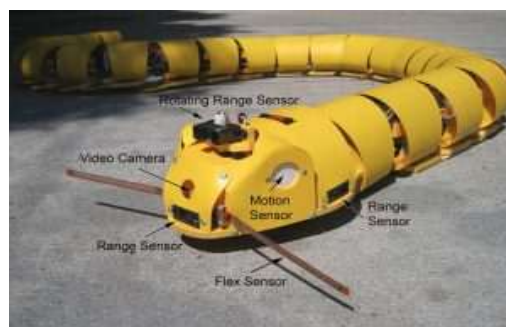
Sojourner 1997

Curiosity rover 2012

Figure I.5 : Evolution technologiques des Rovers [1]

- **Les animâts**

Animaux artificiels, ils sont l'objet d'une branche particulière de la cybernétique dont l'objectif est de copier les mécanismes du vivant. Si le terme animât ne fut défini qu'en 1985 par S.W. Wilson, en revanche les machines inspirées du vivant ont de tous temps stimulé les artistes et savants. On attribue par exemple à Archytas de Tarente (IV^{ème} siècle av. J-C.) ce qui est considéré comme le premier animat de l'histoire de l'humanité. [1]

**Figure I.6** : Serpent de Miller 1995 [1]

- **Les humanoïdes**

La maîtrise de la bipédie est certainement l'accomplissement le plus technique de l'histoire des robots humanoïdes. WABOT-1 de l'université de Waseda (1973) est l'un des premiers robots humains capables de se déplacer (de façon rudimentaire). [1]

- **Les drones**

Le premier avion « motorisé » est probablement le Planophore d'Alphonse Penaud de 1871, un avion miniature très léger dont l'hélice était actionnée par un caoutchouc enroulé autour d'un axe... En 1891, on peut citer l'oiseau mécanique (ornithoptère) de Gustave Trouvé, qui battait des ailes et pouvait parcourir 70 mètres. [1]



Planophore d'Alphonse Penaud 1871 Ornithoptère de Gustave 1891 Premier avion sans Pilote 1917

Figure I.7 : Progrès des drones [1]

Le meilleur exemple de planification complexe de la trajectoire est fourni par les drones, ces robots volants destinés aussi bien à l'espionnage militaire qu'aux études botaniques nécessitant des prises de vues aériennes.

I.3 Termes et définitions générale

- **Robot :** Un mot d'origine tchèque (qui veut dire esclave) ou bien « Robota » qui signifie travail forcé. Un robot est une machine programmable conçue pour effectuer des tâches de manière autonome ou semi-autonome, en utilisant des capteurs pour percevoir et interagir avec leur environnement. Un robot est un dispositif mécatronique (alliant mécanique, électronique et informatique), alimenté en énergie il est formé d'un microcontrôleur ainsi que d'un ou plusieurs capteurs et actionneurs, il fonctionne par

l'exécution continue d'un programme informatique constitué d'algorithmes. Ce programme est écrit dans un langage de programmation dont la nature est choisie par le constructeur. [2]

- **Robot intelligent** : c'est un robot qui intègre un système de contrôle (SI) innovant, cela suggère que le robot n'accomplit pas ses tâches de manière absurde et monotone, ce qui est l'opposé de ce que l'on associe généralement à l'automatisation industrielle. [3]
- **Robot autonome** : Robot autonome désigne la capacité du robot à opérer de façon indépendante, sans nécessiter d'intervention humaine, même dans des situations variables. L'autonomie implique que le robot peut s'ajuster aux changements dans son environnement ou en lui-même tout en poursuivant ses objectifs. [4]
- **Espace et objets** : Les robots se déplacent dans divers environnements, tels que des espaces de travail ou des cellules de travail. Ces environnements peuvent être en deux dimensions (2D), comme un robot mobile se déplaçant sur le sol d'un hôpital, ou en trois dimensions (3D), comme avec un manipulateur de bras faisant de la peinture sur carrosserie. [5]

La robotique s'occupe de la manipulation d'objets, qu'ils soient en mouvement ou immobiles. Ces objets peuvent prendre diverses formes, allant d'un simple point, comme un robot abstrait utilisé pour le développement d'algorithmes, à des structures plus complexes telles qu'une carrosserie rigide, des cartons dans un entrepôt, des véhicules autonomes, des segments de bras ou même des ensembles articulés de parties rigides, comme un bras manipulateur de robot. [5]

Dans l'environnement d'un robot, il peut y avoir des obstacles qui prennent différentes formes en fonction du modèle utilisé et de la dimensionnalité de l'espace. Ces obstacles peuvent se présenter sous forme de points, d'objets polygonaux ou même d'objets de forme arbitraire qui sont réalisables physiquement. [6]

- **Degré de liberté ou système de coordonnées** : La position et l'orientation d'un objet de manière unique dépendent de la dimensionnalité de l'espace et de la complexité de l'objet. Pour décrire cette position et orientation, un nombre minimum de variables indépendantes est nécessaire, appelées degrés de liberté de l'objet (DOF). Le système de référence, exprimé en termes de DOF de l'objet, est appelé espace de configuration (espace C). Ainsi, l'espace C représente une forme spécifique de l'espace de travail du robot (espace W). Pour un cas planaire en deux dimensions (2D) avec un objet rigide libre de translater et de pivoter, cet objet est défini par trois DOF (x , y , θ) : deux coordonnées cartésiennes (x , y) qui indiquent sa position, ainsi que son angle d'orientation θ . [7]

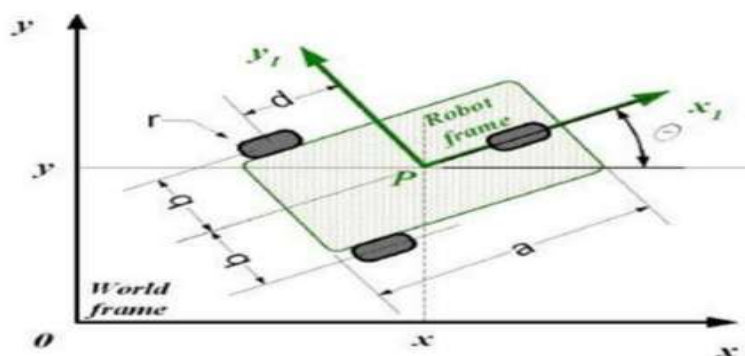


Figure I.8 : Degrés de liberté du robot (x , y , θ)

I.4 Les constituants d'un robot

Un robot est un assemblage de pièces mécaniques et de pièces électroniques, le tout piloté par un microprocesseur. Lorsque les robots sont autonomes (mobiles), ils possèdent également une source d'énergie embarquée : généralement une batterie d'accumulateurs électriques.

- **Les pièces mécaniques** (les actionneurs)

Ce sont les éléments mécaniques qui lorsqu'ils sont rassemblés d'une façon déterminée, transforment l'énergie qui leur est fournie en un phénomène physique utilisable comme des mouvements, suivant un ou plusieurs degrés de liberté, par exemple le déplacement

sur terre, le vol en l'air et l'immersion maritime. Parmi ces pièces on peut citer les actionneurs, le corps du robot les roues, les ailes, etc. [8]

➤ Les pièces électroniques

- Les microprocesseurs sont des éléments primordiaux d'un robot, car ils permettent l'exécution de logiciels informatiques donnant son autonomie au robot. On trouve souvent dans un robot des modèles à très faible consommation, notamment pour des robots de petite taille, qui ne peuvent pas emporter avec eux une source d'énergie importante.
- Les capteurs : Dans un robot, la perception est assurée par l'utilisation de capteurs. Ces derniers donnent une information à propos de l'environnement ou des composants internes (ex : position d'un moteur ou d'un vérin, état d'une LED). Cette information est utilisée pour calculer l'ordre approprié à envoyer aux actionneurs. Il existe une grande variété de capteurs. Par exemple : Les télémètres à Ultra-son, infrarouge ou LASER.
- Les caméras sont les yeux des robots. Il en faut au moins deux pour permettre la vision en trois dimensions, Le traitement automatique des images pour y détecter les formes, les objets, voir les visages, demande un général traitement matériel car les microprocesseurs embarqués ne sont pas assez puissants pour le réaliser. [8]

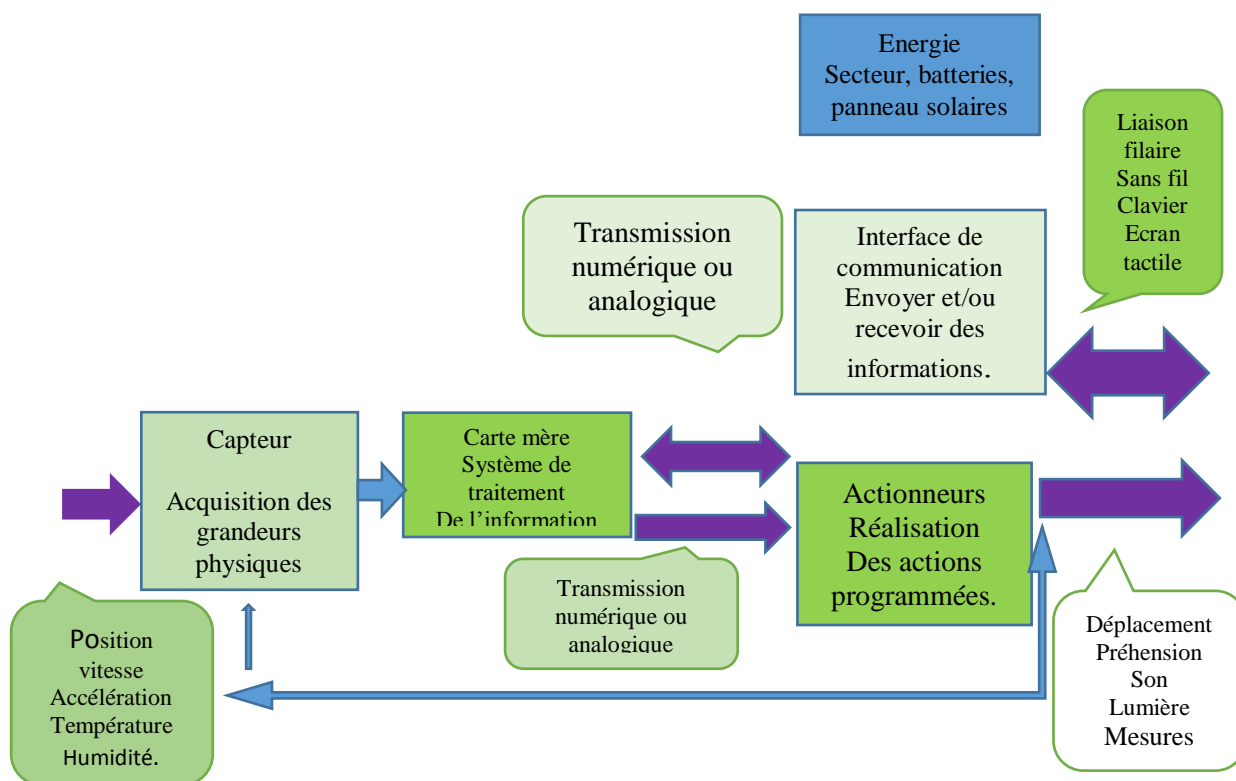


Figure I.9 : constituants matériels d'un robot

I.5 Principe de fonctionnement général de robot

C'est un appareil doté de capacités de perception grâce à des capteurs qui recueillent des mesures ou des informations telles que la tension, la température, etc. Ces données sont ensuite transmises au gestionnaire des tâches pour être traitées et utilisées dans la prise de décisions. En se basant sur cette perception assurée par les capteurs, la machine peut agir de manière autonome dans son environnement, en appliquant les actions appropriées [9]. Voir la figure ci-dessous :

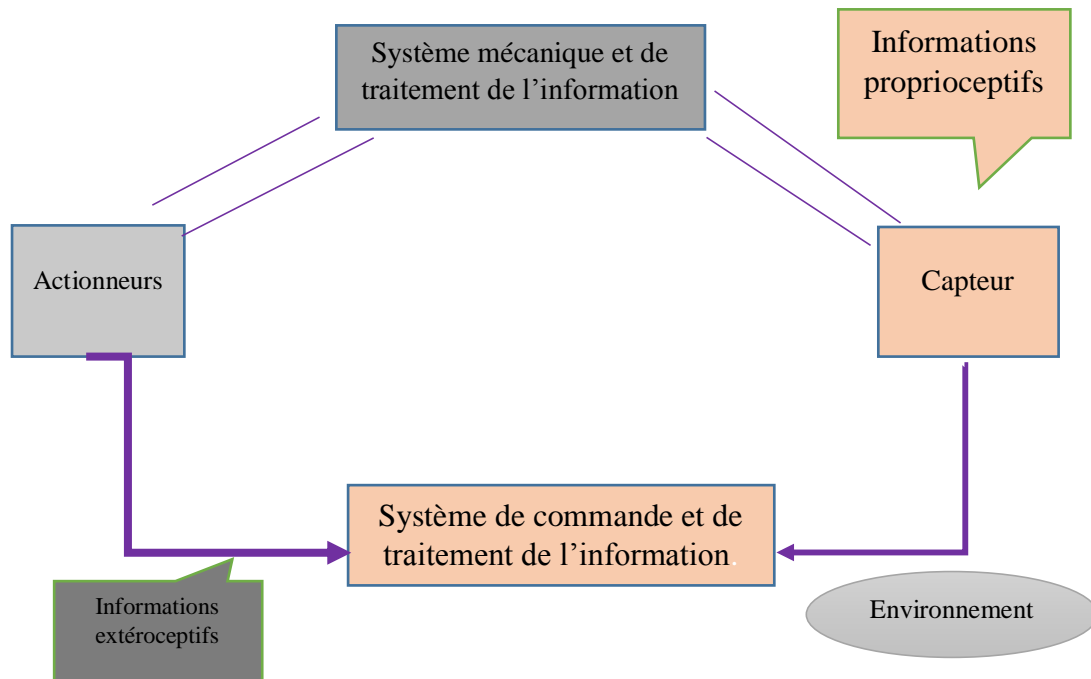


Figure I.10 : Architecture du fonctionnement générale d'un robot

I.6 Caractéristiques général d'un robot

Les caractéristiques d'un robot sont essentielles pour comprendre son potentiel d'application qu'on peut noter ci-dessous : [10]

- **Capacité de charge maximale** : allant de quelques kilos à plusieurs tonnes, déterminée par la rigidité de la structure et la nature de la tâche à accomplir.
- **Enveloppe de travail** : désignant le volume d'espace accessible par le robot dans toutes ses orientations.
- **Positionnement absolu** : défini par une position et une orientation précises dans l'espace cartésien, calculé à l'aide de la cinématique inverse dérivée du modèle géométrique du robot.

- **Vitesse de déplacement** : ajustée pour permettre au robot d'éviter les obstacles en laissant suffisamment de temps pour les mesures, les calculs et l'exécution des ordres tels que la marche ou l'arrêt.
- **Coût** : variable en fonction de la mission à accomplir, mais généralement élevé en raison des services qu'il fournit.

I.7 Lois de la robotique

N'importe quels robots est soumis à trois loi est comme suit : [11]

- Un robot ne peut pas blesser un humain.
- Un robot doit obéir aux ordres donnés par les humains, sauf si de tels ordres se trouvent en contradiction avec la première loi.
- Un robot doit protéger sa propre existence aussi longtemps qu'une telle protection n'est pas en contradiction ni avec la première et/ou ni avec la deuxième loi.

I.8 Types des robots

Au fil de l'histoire, deux types distincts de robots ont émergé, chacun représentant de nouvelles avancées : les robots manipulateurs et les robots mobiles.

I.8.1 Un robot manipulateur

I.8.1.1 Définition : c'est un bras robotisé qui se compose d'un certain nombre de segments qui est conçu pour manipuler ou déplacer des matériaux, outils et pièces sans contact humain direct. Ils sont des dispositifs qui permettent aux humains d'interagir avec des objets dans un environnement en toute sécurité. Les robots manipulateurs sont utilisés dans des applications industrielles pour s'effectuer efficacement des tâches telles que l'assemblage, soudage, traitement de surface, et le forage.

Un robot industriel est un manipulateur à plusieurs degrés de liberté contrôlé automatiquement, reprogrammable et multitâche qui peut être fixe ou mobile pour une application en automatisation industrielle. [12]



Figure I.11 : Structure d'un robot manipulateur [13]

Le robot industriel se compose d'une structure mécanique animée par des actionneurs, à partir d'ordres élaborés par un ordinateur. Ces ordres dépendent des informations délivrées par les capteurs. L'utilisation de capteurs externes, capteurs « extéroceptif », pour évaluer et mesurer l'interaction du robot avec l'environnement directement depuis son organe terminal devient une pratique de plus en plus courante dans les applications robotiques de haute précision.

Nous pouvons déjà distinguer d'après la figure ci-dessous, les deux types de coordonnées que l'on rencontre au niveau d'un robot. Il s'agit des coordonnées articulaires ou coordonnées généralisées qui décrivent la configuration du robot (position des articulations motrices) et des coordonnées opérationnelles ou coordonnées de la tâche, qui définissent la position et l'orientation de l'effecteur dans le repère de la tâche propre à l'homme. Les modèles géométriques direct et inverse permettent de passer d'un système de coordonnées à l'autre. L'architecture mécanique est la structure qui relie la base du robot à son effecteur. Elle est constituée de segments connectés entre eux par des articulations passives ou actives, selon qu'elles sont motorisées ou non. [14]

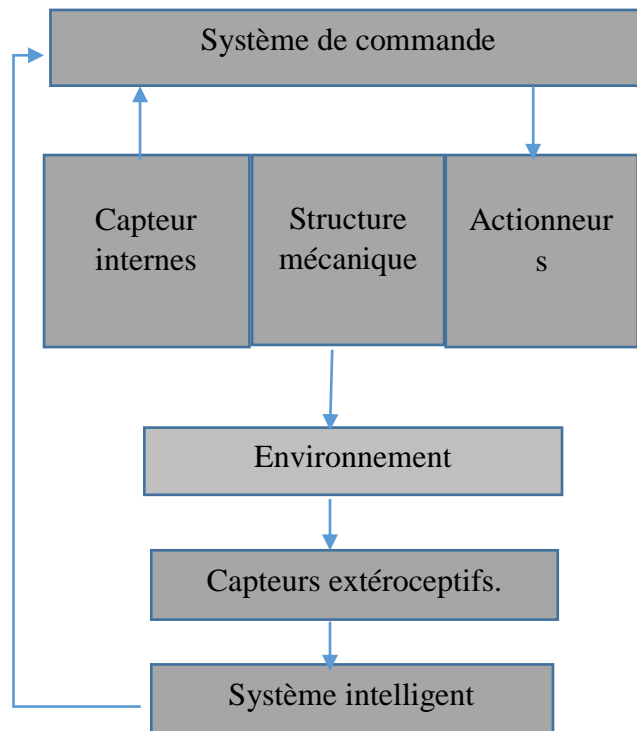


Figure I.12 : Structure générale d'un robot industriel

I.8.1.2 La structure mécanique et la motricité

Il existe deux types de structures mécaniques qui fournissent la motricité

I.8.1.2.1 Les robots sériels

Définition : La majorité des robots industriels actuellement construits sont de type sériel. Cela signifie que leur structure mobile est constituée d'une chaîne ouverte composée de segments successifs reliés les uns aux autres par des articulations à un degré de liberté. Chaque articulation est contrôlée par un actionneur situé soit à l'articulation même, soit sur l'un des segments précédents. [15]



Figure I.13 : Robot sériel [16]

Les robots séries possèdent l'avantage de disposer d'un grand volume de travail et d'être relativement simples sur le plan des calculs liés à leur commande. Leurs principaux inconvénients sont les suivants : [15]

- Inertie élevée à cause de la répartition des masses sur toute la chaîne cinématique (actionneurs, organes de transmission).
- Manque de rigidité par la mise en série d'éléments élastiques, fatigue et usure des liaisons de puissance assurant l'alimentation des actionneurs (câbles, tuyaux flexibles).
- Fatigue et usure des liaisons assurant la circulation des informations entre les capteurs et la commande, ce point est très important lorsqu'il s'agit de sûreté de fonctionnement, puisqu'une erreur de transmission peut avoir des conséquences néfastes sur les mouvements du robot.

I.8.1.2.2 Les robots parallèles

Pour certaines applications industrielles telles que l'usinage grande vitesse (UGV) ou la manutention rapide, les manipulateurs à cinématique sérielle ne semblent plus être les plus adaptés. Dans ce type d'architecture, chaque axe motorisé supporte le suivant, ce qui entraîne des masses en mouvement élevées, limitant ainsi les performances dynamiques.

C'est pourquoi les manipulateurs à cinématique parallèle gagnent en popularité. Ils offrent des performances dynamiques élevées ainsi que des capacités de charge importantes. Ces avantages

sont particulièrement précieux dans le domaine industriel, faisant des robots parallèles des choix privilégiés pour de nombreuses applications.

En termes de définition, un manipulateur parallèle est un mécanisme à chaîne cinématique fermée. Son organe terminal est relié à la base par plusieurs chaînes cinématiques indépendantes. [17]



Figure I.14 : Robot parallèle [18]

Les robots parallèles seront présentés comme étant une solution aux limitations des robots sériels.

I.8.2 Les robots mobiles

I.8.2.1 Définition : Les robots mobiles ont une place particulière en robotique. Leur intérêt réside dans leur mobilité qui ouvre des applications dans de nombreux domaines. Comme les robots manipulateurs, ils sont destinés à assister l'homme dans les tâches pénibles (transport de charges lourdes), monotones ou en ambiance hostile (nucléaire, marine, spatiale, lutte contre l'incendie, surveillance...).

L'aspect particulier de la mobilité impose une complexité technologique et méthodologique qui s'ajoute en général aux problèmes rencontrés par les robots manipulateurs. La résolution de ces problèmes passe par l'emploi de toutes les ressources disponibles tant au niveau technologique (capteurs, motricité, énergie) qu'à celui du traitement des informations par l'utilisation des techniques de l'intelligence artificielle ou de processeurs particuliers (vectoriel, cellulaires).

L'autonomie du robot mobile est une faculté qui lui permet de s'adapter ou de prendre une décision dans le but de réaliser une tâche malgré un manque d'informations préliminaires ou éventuellement erronées. Dans d'autres cas d'utilisation, comme celui des véhicules d'exploration de planètes, l'autonomie est un point fondamental puisque la télécommande est alors impossible par le fait de la durée du temps de transmission des informations. [19]



Figure I.15 : Plateforme d'un robot mobile [20]

I.8.2.2 L'architecture des robots mobiles

L'architecture des robots mobiles se structure en quatre éléments : [21]

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

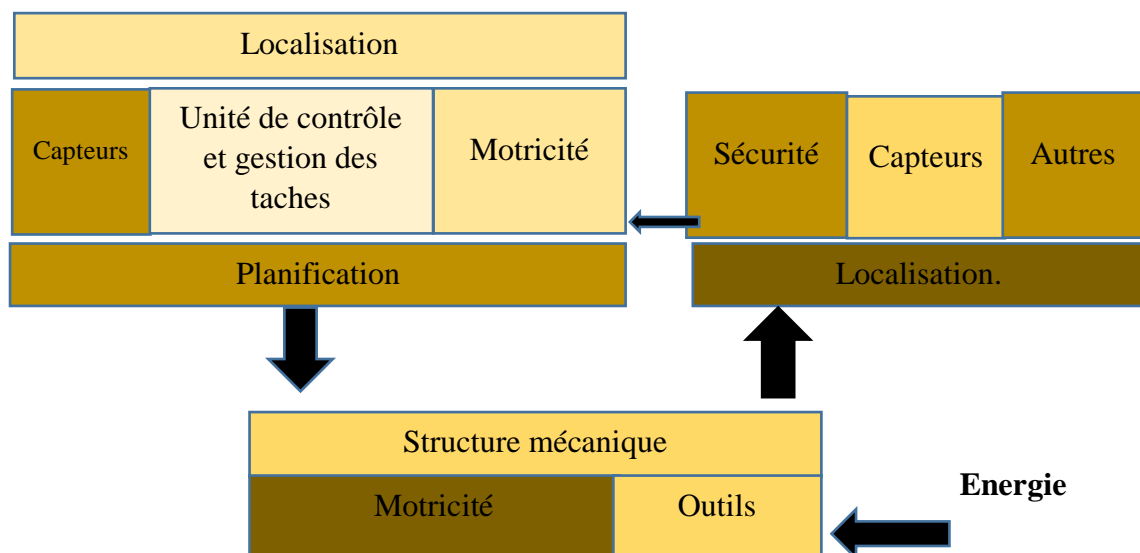


Figure I.16 : Architecture d'un robot mobile

I.8.2.3 Types des robots mobiles

Les robots mobiles sont nombreux selon leur fonction, dans cette partie on va citer et détailler quelques types pour mieux comprendre la mobilité.

➤ **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 importante. Le franchissement d'obstacles ou l'escalade de marches d'escalier est possible dans une certaine mesure. Nous citerons ici les quatre classes principales de robots à roues : [22]

- **Robot uni cycle** : est actionné par deux roues indépendantes, possédant éventuellement des roues folles pour assurer sa stabilité. Son centre de rotation est situé sur l'axe reliant les deux roues motrices. Sa commande peut être très simple, il est en effet assez facile de le déplacer d'un point à un autre par une suite de rotations simples et de lignes droites.

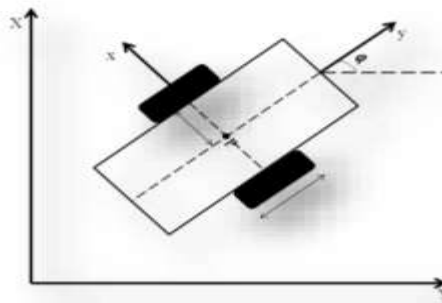


Figure I.17 : Schéma d'un robot uni cycle

- **Robot tricycle** : Un robot tricycle est composé de deux roues fixes alignées sur le même axe et d'une roue centrale orientable placée sur l'axe longitudinal. Le déplacement du robot est déterminé par la vitesse des deux roues fixes et par l'orientation de la roue orientable. Son point de rotation se trouve à l'intersection de l'axe contenant les roues fixes et de l'axe de la roue orientable. La commande de ce type de robot est plus complexe, car il est généralement impossible d'effectuer des rotations simples en raison du rayon de braquage limité de la roue orientable.

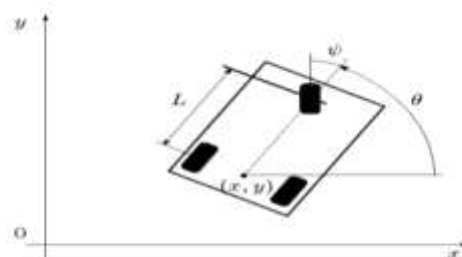


Figure I.18 : Robot mobile tricycle

- **Robot voiture (ou robot à roues car-types) :** Cet autre type de robot, similaire au tricycle, est composé de deux roues fixes alignées sur un même axe, ainsi que de deux roues centrales orientables placées également sur un axe commun. La conduite droite n'est pas un problème un problème dans ce type de direction, car les roues arrière sont entraînées via un certain rayon minimum et le mécanisme de virage doit être contrôlé avec précision.



Figure I.19 : Robot de type voiture

- **Robot omnidirectionnel :** Un robot mobile est considéré comme omnidirectionnel lorsque nous pouvons contrôler indépendamment les vitesses de translation le long des axes x et y , ainsi que la vitesse de rotation autour de l'axe z . Cependant, avec des roues fixes ou des roues centrales orientables, cela n'est pas réalisable en termes de cinématique. Pour concevoir un robot omnidirectionnel, nous utilisons généralement un système de trois roues

décentrées orientables, souvent appelées roues suédoises, disposées aux sommets d'un triangle équilatéral.

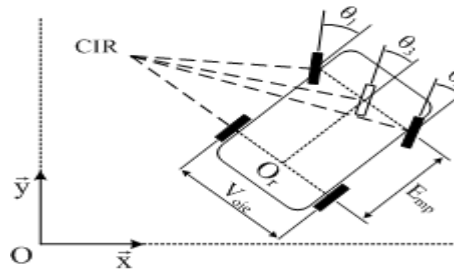


Figure I.20 : Schéma d'un robot mobile omnidirectionnelle

Type du robot	Avantage	Inconvénient
Uni cycle	Stable, Rotation sur soi-même, Complexité, Mécanique faible.	Non-holonome
Tricycle	Complexité mécanique modérée.	Non-holonome, Peu stable Pas de rotation sur soi-même.
Voiture	Stable Complexité mécanique	Non holonome, Pas de rotation sur soi-même.
Omnidirectionnel	Stable, Rotation sur soi-même, holonome.	Complexité mécanique importante.

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

- **Les robots mobiles à chenilles :** Lorsque le sol est accidenté ou d'une mauvaise qualité, les roues sont confrontées à de nombreux problèmes tels que perte d'efficacité et interaction avec le terrain qu'ils s'interagissent, et afin de les éviter, les chenilles sont la solution pour protéger les robots à roues afin d'accomplir les tâches pour lesquels

ont été réalisées parce que leur utilisation présente une bonne adhérence au sol et une faculté de franchir les obstacles. Les chenilles couvrent les roues, le robot s'avance grâce eux, vaut mieux utiliser une matière de bonne qualité pour éviter le glissement et dérapage des véhicules à chenilles. [23]



Figure I.21 : Robots mobiles à chenilles

- **Robots volants** : Robot volant ou un drone c'est un aéronef ou engin volant sans pilote et passagers, piloté à distance, ce genre de robots nécessite le respect de certaines règles. Il se caractérise par son apport d'information après son analyse à travers des différents capteurs, son autonomie et sa rapidité. Ils sont utilisables dans différents domaines militaires dans la lutte contre les insurrections et le terrorisme, civil dont la lutte contre les incendies, en agriculture pour la surveillance de cultures par exemple d'détection des plantes manquantes dans la récolte dans des zones non peuplées. [24]



Figure I.22 : Un robot volant [25]

➤ **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. On distingue plusieurs types des robots marcheurs : [26]

- **Monopède** : est un type de robot qui possède une seule jambe ou un seul pied. Il se déplace en sautant en raison de son unique point de contact avec le sol. Pour maintenir l'équilibre entre le centre de gravité et la masse corporelle, la stabilité dynamique est essentielle et constitue un aspect crucial à prendre en compte.

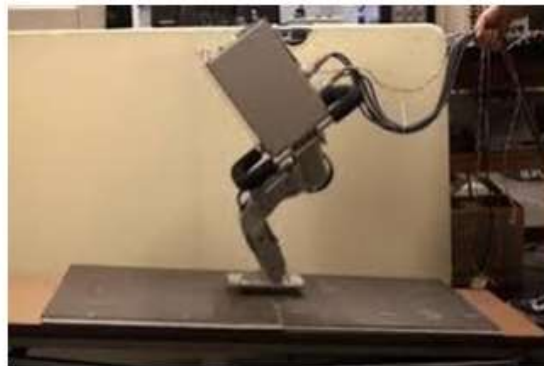


Figure I.23 : Robot marcheur monopède

- **Les bipèdes** : également appelés humanoïdes en raison de leur structure similaire à celle du corps humain, marchent sur deux pieds mais sont souvent moins stables. Cela pose des défis lors de leur conception et de leur étude. Malgré cela, ils peuvent interagir et s'adapter à leur environnement. Les chercheurs font face à de nombreuses difficultés lors de la création de bipèdes, notamment en raison de la complexité des modèles mathématiques nécessaires, du coût élevé des calculs, souvent difficiles à effectuer pour les machines, et des matériaux de fabrication. Ces robots peuvent être déployés dans divers environnements, y compris dans les aéroports, mais leur développement reste un défi important.



Figure I.24 : Robot marche bipède. [27]

- **Les robots quadrupèdes** : s'inspirent de la structure des animaux à quatre pattes, comme les chevaux. Leur capacité à se déplacer repose sur le mouvement indépendant de leurs pattes, ce qui leur confère une stabilité supérieure aux bipèdes. Leur conception repose sur trois principes fondamentaux :
 - ✓ **Mobilité** : Ils doivent pouvoir se déplacer sur divers types de terrains, qu'ils soient réguliers ou accidentés, structurés ou non.
 - ✓ **Intelligence** : Ils doivent être capables d'opérer de manière autonome, de s'adapter à leur environnement et d'apprendre de nouvelles tâches.
 - ✓ **Énergie** : Le choix de la source d'énergie est crucial pour garantir l'alimentation électrique du système, notamment de la carte mère.



Figure I.25 : Robot marcheur quadrupède

- **Les hexapodes** : sont des robots mobiles à six pattes, inspirés par le mouvement des insectes tels que les fourmis et les abeilles. Leur conception repose sur trois paires de pattes, ce qui leur confère une stabilité supérieure aux bipèdes et aux quadrupèdes. Cette configuration équilibrée vise à minimiser la consommation d'énergie. Ces robots sont étudiés comme une alternative aux roues, offrant une grande vitesse de déplacement.



Figure I.26 : Robot marcheur hexapode

I.8.2.4 Mode de fonctionnement d'un robot mobile

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

- **En mode télé-opéré** : le terme robot (esclave) est amplement justifié, du fait que, une personne donne des ordres et pilote le robot à distance via une interface de commande (clavier, souris...), dans ce domaine les efforts de recherche sont basés sur l'amélioration de la perception de l'environnement pour l'opérateur, et les problèmes liés à la télécommunication.
- **Mode autonome** : dont le robot doit prendre ses propres décisions ; de cette effet, il doit percevoir correctement son environnement, et agir en séquence suivant le niveau d'autonomie. C'est à lui de planifier son parcours et faire de sorte à éviter les obstacles afin d'atteindre un objectif et avec quel mouvement réaliser cela. Dans ce modes l'étude sa base essentiellement sur la structure de contrôle, stratégies de commande, planification et la notion d'autonomie décisionnelle. [22]

I.8.2.5 Organe de sécurité

Il est impératif d'équiper les robots mobiles de dispositifs de sécurité pour prévenir tout danger résultant de leur liberté de mouvement. Deux catégories de capteurs sont utilisées à cette fin : [29]

- Les capteurs proximétriques, qui détectent les obstacles avant une éventuelle collision (utilisant des technologies telles que les ultrasons, les hyperfréquences, ou l'infrarouge).
- Les capteurs à contact, qui signalent une collision ou un choc avec l'environnement en établissant un contact physique (par exemple, des capteurs électriques sur les pare-chocs, des résistances variables, ou des fibres optiques).

L'organisation de la sécurité des robots mobiles est schématisée dans le diagramme suivant :

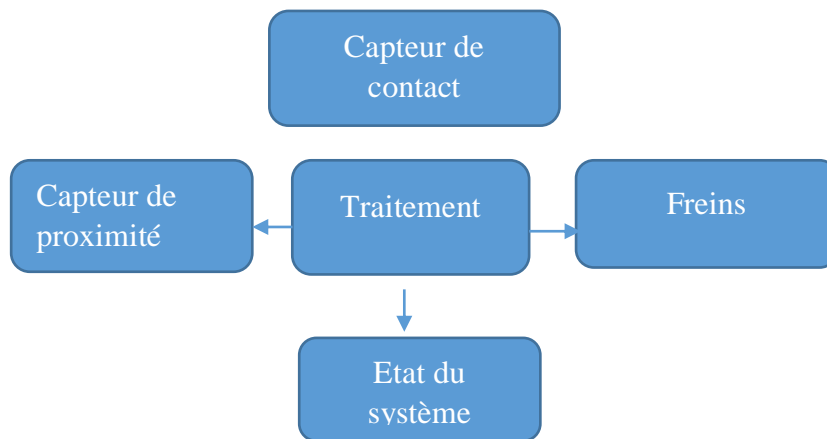


Figure I.27 : Schéma synoptique des organes de sécurité

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.

I.8.2.6 Les avantages et les inconvénients des robots mobiles

Un système robotique consiste non seulement des robots mais aussi d'autres dispositifs et systèmes qui sont utilisés avec le robot pour effectuer la tâche nécessaire. et pour cela on résume ci-dessous les avantages et les inconvénients de son utilisation : [30]

Avantages des robots mobiles

- Augmentation de la productivité, de la sécurité, de l'efficacité, de la qualité et de la cohérence des produits.
- Capacité à opérer dans des environnements dangereux sans nécessiter de support de vie ni de préoccupations de sécurité.
- Absence de besoins en éclairage, climatisation, ventilation et protection contre le bruit.
- Capacité à travailler en continu sans ressentir de fatigue ou d'ennui, et sans nécessiter d'assurance médicale ou de vacances.
- Précision répétable constante, sauf en cas de dysfonctionnement ou d'usure.
- Capacité à être plus précis que les humains, avec une précision linéaire typiquement de 20 à 10 microns.

Inconvénients des robots mobiles

- Incapacité à réagir aux imprévus sans que les situations ne soient comprises et que les réponses ne soient incluses dans le système.
- Réponse inadéquate aux situations non prévues.
- Absence de prise de décision autonome.
- Consommation énergétique.
- Risque de causer des dommages à d'autres appareils et des blessures humaines.
- Coût élevé d'acquisition, d'installation, de maintenance, de formation et de programmation.
- Appréhension quant à la substitution des emplois humains par des robots.
- Limitations des capacités des robots.

I.9 Domaine d'application des robots

On peut introduire la robotique dans plusieurs domaines multiple application, dont on cite différents domaines : [31]

- Industriel
- Ludique
- Médical
- Assistance et rééducation
- Militaire.

✓ **L'industrie** : Le but premier des robots est de remplacer l'homme dans des activités, Les robots ont donc commencé à être utilisés dans les chaînes d'assemblage industrielles, dans ces chaînes nous retrouvons des robots soudeurs, manipulateurs, peintres, ...etc. Il existe 3 types de robots :

- Les robots de peinture ou de soudure : largement répandus ;
- Les robots de montage : de taille plus réduite ;
- Les robots mobiles d'inspection : dotés d'intelligence artificielle et tenant en compte l'environnement pour les modèles les plus complexes.



Figure I.28 : Robot industriel

✓ Le domaine militaire

Les robots sont de plus en plus utilisés dans le domaine militaire. Aujourd'hui on peut plus facilement créer des robots discrets et dotés de nombreux capteurs, ce qui est idéal pour des missions d'espionnage ou d'éclairage.



Figure I.29 : Robot tueur

✓ La santé

Les robots sont de plus en plus présents dans le domaine médical, où ils assistent les médecins et les chirurgiens. Ils ne sont pas encore totalement autonomes, mais ils permettent déjà la réalisation d'opérations médicales à distance. Cette pratique de chirurgie assistée, bien qu'encore émergente et peu répandue, est sur le point de devenir la norme pour la chirurgie du futur.

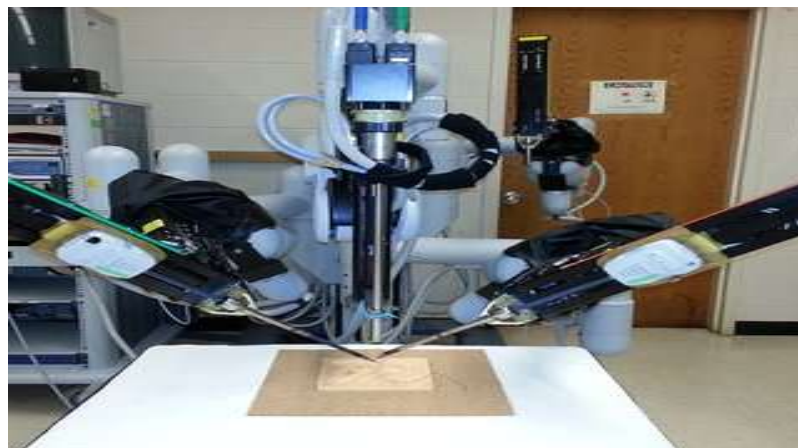


Figure I.30 : Un robot assistant

✓ Utilisation civile

De plus en plus de tâches sont confiées aux robots. Ils servent à remplacer les personnes qui sont chargées de tâches civiles (Nettoyer la ville, aider la population, s'occuper des lieux publics...). Le robot de la figure ci-dessous est équipé de deux caméras et d'un GPS. Il circule dans la rue de manière autonome en engouffrant la neige avec sa bouche.



Figure I.31 : Un robot engouffrant la neige de la rue avec sa bouche

✓ Domaine agriculture

Ce nouveau robot, entièrement autonome et alimenté par l'énergie solaire, se déplace à travers les rangées de cultures pour surveiller et analyser les plantes. Bien qu'il soit encore en phase de développement, il a déjà passé avec succès de nombreux tests sur des champs de légumes. Équipé de divers capteurs, senseurs et caméras, il est capable de détecter rapidement toute anomalie, qu'il s'agisse de mauvaises herbes, d'animaux nuisibles ou d'une croissance insuffisante. Une fois l'anomalie repérée, il alerte l'exploitant agricole, lui permettant ainsi de prendre rapidement les mesures nécessaires pour y remédier.



Figure I.32 : Robot agricole

✓ Domaine de service

La révolution de la robotique a conduit ces dernières années à voir de nombreux robots s'installer chez les particuliers pour effectuer des tâches à la place de leur possesseur. Ils sont capables de faire le ménage, tondre la pelouse, nettoyer la piscine etc.



Figure I.33 : Robot Assimo de service.

✓ Domaine ludique

Désigne les robots exclusifs aux domaines des jeux et de la vie domestique. A titre d'exemple : robots ménagers, robots musiciens, dessinateurs.



Figure I.34 : robot dessinateur

nous présentons un résumé de quelques applications dans le tableau ci-dessous :

Industrie nucléaire	<ul style="list-style-type: none"> - Surveillance de sites - Manipulation de matériaux radioactifs - Démantèlement de centrales
Sécurité civile	<ul style="list-style-type: none"> - Neutralisation d'activité terroriste - Déminage - Pose d'explosif - Surveillance de munitions
Militaire	<ul style="list-style-type: none"> - Surveillance, patrouille - Pose d'explosifs - Manipulation de munitions
Chimique	<ul style="list-style-type: none"> - Surveillance de site - Manipulation de matériaux toxiques
Médecine	<ul style="list-style-type: none"> - Assistance d'urgence - Aide aux handicapés physiques, aux aveugles
Lutte contre l'incendie	<ul style="list-style-type: none"> - Localisation d'une source d'incendie - Détection de fumée - Suppression de flammes
Sous-marine	<ul style="list-style-type: none"> - Recherche de nodules - Recherche de navires immergés

	- Inspection des fonds marins
Agricole	- Cueillette de fruits - Traite, moisson, traitement des vignes...
Construction BTP	- Projection mortier - Lissage du béton
Nettoyage	- Coque de navire - Nettoyage industriel
Espace	- Exploration
Industriel	- Convoyage - Surveillance

Tableau I.2 : Différentes applications des robots

I.10 Traitement des informations et gestion des tâches

Le traitement des informations et la gestion des tâches forment le cœur du système informatique, agissant comme le module central de gestion des données. Ce module élabore les instructions nécessaires pour guider le robot dans ses déplacements et pour activer les différents composants en fonction des objectifs définis. Nous nous concentrerons ici sur le processus de génération de plans, qui consiste à déterminer la manière dont le robot se déplace en utilisant des connaissances préalables (statiques) ou acquises en temps réel (dynamiques). Ce processus de génération de plans repose sur trois concepts fondamentaux : [32]

- La stratégie de navigation, qui détermine comment le robot navigue dans son environnement.
- La modélisation de l'espace, qui représente la structure et les caractéristiques de l'environnement dans lequel le robot évolue.
- La planification, qui consiste à élaborer une séquence d'actions permettant au robot d'atteindre ses objectifs tout en tenant compte des contraintes et des conditions changeantes de son environnement.

I.11 Discussion

Dans ce premier chapitre, nous avons exploré les fondements des robots, en mettant l'accent sur leurs définitions, classifications, et applications diverses, nous avons vu que les robots sont des machines programmables capables de réaliser des tâches de manière autonome ou semi-autonome. Nous avons également discuté les différents types de robots ainsi leurs constituants. Cette compréhension des généralités sur les robots nous permettra de poser des bases nécessaires pour aborder d'une manière détaillée la conception et la réalisation de notre robot dans le chapitre suivant.

Chapitre II

Description matérielle et logicielle du robot

II.1 Préambule

Dans ce chapitre nous allons décrire le matériel utilisé et ses fonctions dans le système. Nous devons considérer de nombreux facteurs pour faire les meilleurs choix des matériaux. Grâce à cette partie de notre projet nous acquerrons des connaissances dans les différents aspects de l'électronique.

II.2 Description de la partie matérielle

Ci-dessous, nous détaillons les divers outils et composants employés dans la conception de notre système d'empreinte digitales.

II.2.1 Arduino UNO

II.2.1.1 Définition : Arduino est une gamme de circuits électroniques open source basée sur un microcontrôleur du fabricant l'ATmega328.[33] Ces circuits intègrent les composants nécessaires pour permettre une utilisation rapide et simple du microcontrôleur. Cette simplification permet de rendre facile la création et la programmation d'objets ou dispositifs interactifs. Ces objets contiennent toutes sortes de capteurs, d'indicateurs lumineux ou d'interrupteurs que l'on souhaite faire.

Il dispose de 14 broches d'entrée/sortie numériques (dont 6 peuvent être utilisées comme sorties PWM), 6 entrées analogiques (A0-A5) fournissent un convertisseur numérique analogique (ADC) avec une résolution de 10 bits, un oscillateur à cristal de 16 MHz, une connexion USB, une prise d'alimentation, un en-tête ICSP et un bouton de réinitialisation, comme illustré à la figure 35. Il contient tout le nécessaire pour prendre en charge le microcontrôleur, c'est-à-dire pour utiliser la carte Arduino, il suffit simplement la connecter au PC avec un câble USB ou l'alimenter avec un adaptateur AC-DC ou une batterie et transférer le programme sur la carte.[33]



Figure II.35 : La Carte Arduino

Parmi les caractéristiques de la mémoire, l’ATmega328 peut stocker le code là où il dispose de 32 Ko de mémoire flash ou ses 0.5Ko sont utilisés par le chargeur de démarrage ,2Ko de SPAM et 1Ko d’EEPROM. Les caractéristiques de la carte Arduino Uno citées dans le tableau 1 :

Specifications	Paramètres
Microcontrôleur	ATmega328
Tension de fonctionnement	5V
Tension entrée (recommandée)	7-12V
Broche d’E/S numériques	14
Broche d’entrée analogique	6
Courant CC par broche d ’E/S	40 mA
Courant continue pour broche3.3V	50 mA
Mémoire flash	32 kb
SRAM	2 kb
EEPROM	1 kb
Vitesse d’horloge	16 MHz

Tableau II.3 : Caractéristiques de la carte Arduino Uno

II.2.1.2 Constitution de la carte Arduino Uno

La figure 36 illustre l'architecture interne de la carte électronique programmable Arduino UNO. Elle est basée sur le microcontrôleur ATmega328. Elle dispose de 14 entrées/sorties numériques, de 6 entrées analogiques, d'un oscillateur à quartz de 16 MHz, d'une connexion USB, d'une prise jack d'alimentation, d'un en-tête ICSP (In Circuit Serial Programming) et d'un bouton reset. La carte Arduino ne possède pas de vraie sortie analogique capable de produire une tension d'une valeur arbitraire choisie par l'utilisateur. Certains ports numériques peuvent cependant servir de sortie analogique en utilisant la technique de PWM (Pulse With Modulation), il s'agit des ports 3, 5, 6, 9, 10 et 11 (figure 37).

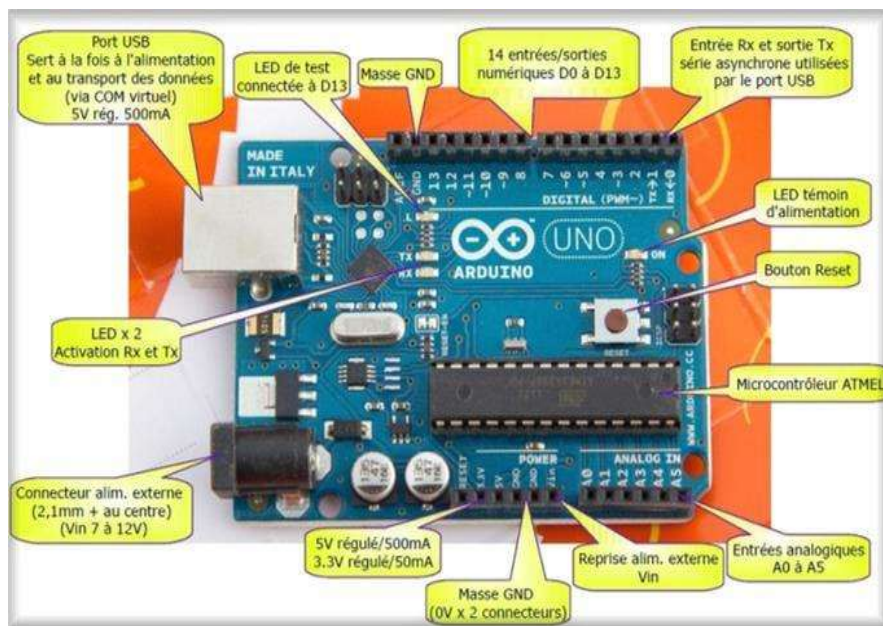


Figure II.36 : les constituants de La carte Arduino



Figure II.37 : Sorties analogiques

II.2.1.2.1 Microcontrôleur ATmega328P

ATmega328P est un microcontrôleur CMOS 8 bits faible consommation d'énergie figure 38. En exécutant des instructions puissantes en un seul cycle d'horloge, l'ATmega atteint des débits permettant au système d'optimiser la consommation d'énergie par rapport à la vitesse de traitement. [33] La configuration des broches du PIC est illustrée à la figure 38.

L'ATmega328p a été choisi pour la réalisation de notre projet car il est dix fois plus rapide que les microcontrôleurs CISC conventionnels. [33]



Figure II.38 : Microcontrôleur ATmega328p

❖ Caractéristiques centrales et périphériques

- Deux temporisateurs/compteurs 8 bits avec pré diviseur séparé et mode de comparaison.
- Un temporisateur/compteur 16 bits avec pré diviseur séparé, mode de comparaison et mode de capture.
- Compteurs en temps réel avec oscillateur séparés.
- Six canaux PWM.
- CAN 10 bits à 8 canaux en boîtier TQFP et QFN/MLF.
- USART série programmable,
- Interface série SPI maître/esclave,
- Interface série à 2 fils orientée octet (compatible Phillips I2 C),
- Minuterie de chien de garde programmable avec oscillateur séparé sur puce.

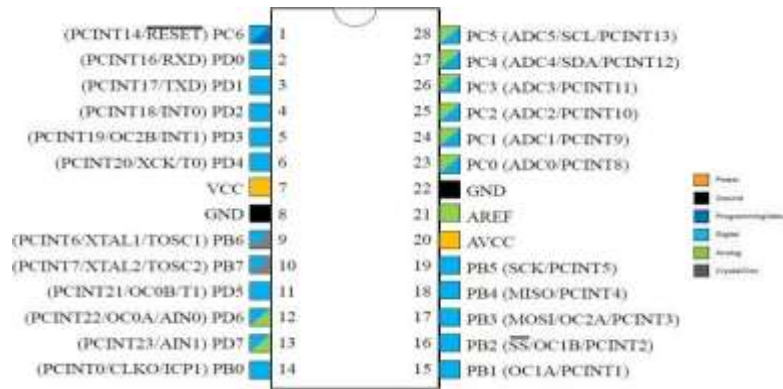


Figure II.39 Configuration des broches d'atmega328p

II.2.2 Actionneurs

II .2.2.1 Définition

Un actionneur est un dispositif qui convertit l'énergie délivrée par une interface en énergie utilisable pour modifier le comportement ou l'état d'un système, ou pour effectuer des tâches dans des systèmes automatisés. Ci-dessous les différents actionneurs que nous avons utilisés pour réaliser notre robot.

II.2.2.2 Moteur pas à pas

Un moteur pas à pas est un type unique de moteur à courant continu qui tourne à pas fixes d'un certain nombre de degrés. La taille des pas peut aller de 0,9 à 90°. Le moteur pas à pas de base se compose d'un rotor et d'un stator figure 40, le rotor est un aimant permanent et le stator est composé d'électroaimants. Le rotor se déplacera (ou fera un pas) pour s'aligner avec un aimant de champ excité. [34] Si les aimants de champ sont alimentés l'un après l'autre autour le cercle, le rotor peut être amené à se déplacer dans un cercle complet. Dans la plupart des steppers les systèmes de moteur fonctionnent principalement en boucle ouverte, c'est-à-dire que le contrôleur envoie au moteur un nombre déterminé de commandes de pas et suppose que le moteur aille au bon endroit. [35] Les steppers ont une vitesse intrinsèquement faible et sont donc fréquemment utilisés sans engrenage réductions. [34] Tel montré par la figure 40, il existe trois types de moteurs pas à pas, et notamment à aimant permanent (PM), à réluctance variable,

et hybride. Tous les types remplissent la même fonction de base, mais certaines différences entre elles peuvent être importantes dans certaines applications. [34]



Figure II.40 : Moteur pas à pas

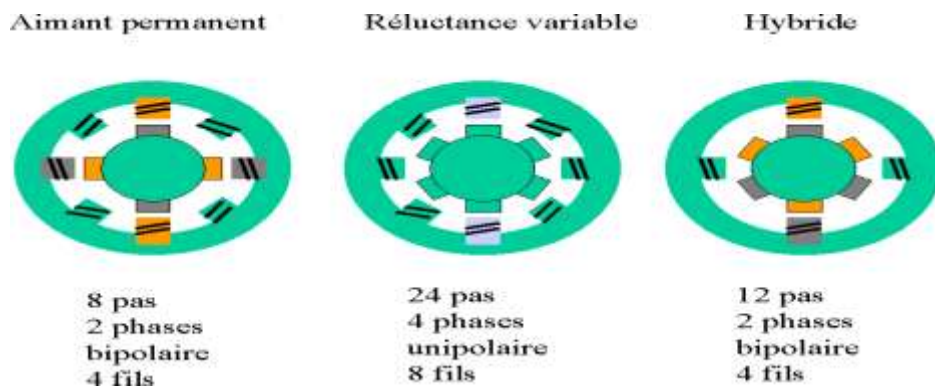


Figure II.41 : Les trois types de moteurs pas à pas

II.2.2.3 Moteur pas à pas PM biphasé

Comme le montre la figure 42, Le moteur pas à pas biphasé (bipolaire) possède seulement deux circuits mais il est en réalité composé de quatre pôles d'excitation magnétiques. [36]

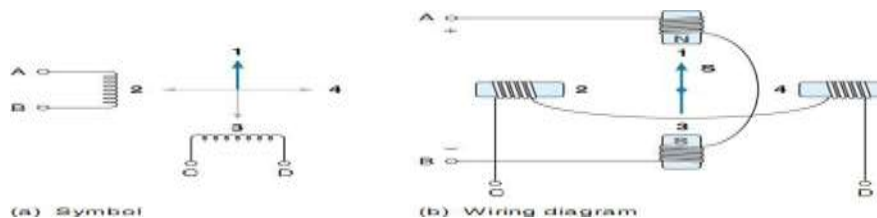


Figure II.42 : Moteur pas à pas biphasé (bipolaire)

II.2.2.4 Moteurs à courant continu

Un moteur à courant continu est une machine électrique tournante mettant en jeu des tensions et courants continus et qui permet la conversion d'énergie électrique en une énergie mécanique. Cette machine peut également fonctionner en mode générateur qui est la fonction réversible du moteur.

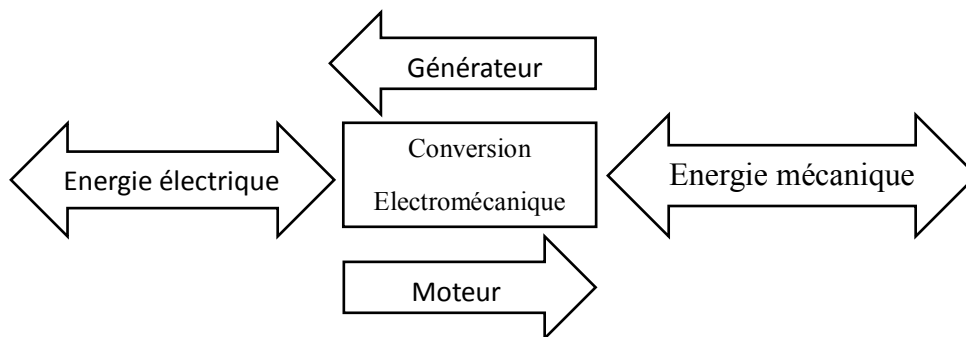


Figure II.43 : Schéma de conversion électromécanique d'énergie

II.2.2.4.1 Constitution d'un moteur à courant continu

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

- ❖ **Stator** : C'est la partie fixe du moteur dont le rôle est de créer un flux magnétique. Cette fonction peut être assurée par un aimant permanent ou par un courant électrique circulant dans un bobinage (électroaimant) enroulé autour d'un noyau qui est une partie d'un circuit ferromagnétique, ce circuit ferromagnétique a comme fonction de canaliser le flux magnétique, il est constitué d'une culasse, au moins deux noyaux et deux épanouissements polaires. [37]
- ❖ **Rotor** : Partie mobile du moteur, aussi appelé induit, il est composé d'un châssis métallique, comprenant un certain nombre d'encoches, sur lesquelles sont placés un certain nombre de bobinages. Le châssis métallique est constitué de tôles circulaires isolées et empilées sur l'arbre (feuilleté) afin de réduire les pertes par hystérésis et par courants de Foucault dues aux variations du flux. [37]

- ❖ **Collecteur / balais** : C'est un dispositif permettant de relier le circuit induit tournant à un circuit électrique extérieur fixe. Le collecteur est formé d'une série de lames de cuivre juxtaposées et isolées entre elles. Les balais sont fixés sur la carcasse, ils sont formés de blocs de carbone (contactes glissant) qui frottent sur le collecteur en assurant un bon contact électrique. [37]

Le sens de rotation est défini par les polarités de l'inducteur et de l'induit. Pour changer le sens de rotation de ce moteur, il suffit d'inverser la polarité de l'inducteur ou de l'induit [38]

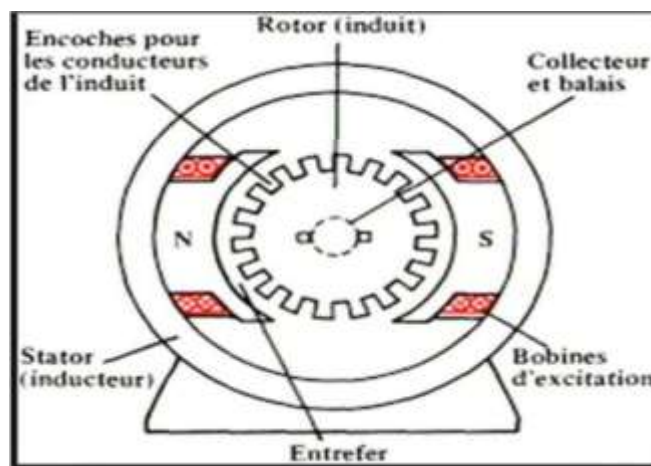


Figure II.44 : Moteur courant continu

II.2.2.4.2 Contrôle de la vitesse du moteur à courant continu

Il existe deux approches de base pour contrôler la vitesse d'un moteur à courant continu. D'une part, la technique classique de le faire est d'utiliser un lecteur analogique. Dans cette méthode l'amplificateur amplifie le signal d'entraînement du contrôleur et donne au moteur une tension analogique optimale. Un convertisseur numérique-analogique serait requis si le contrôleur est numérique. D'autre part, la technique de contrôle d'un moteur à courant continu est la modulation de largeur d'impulsion (PWM). Dans ce système, la puissance est fournie au moteur sous la forme d'impulsions. La largeur des impulsions est modifiée pour contrôler la vitesse du moteur figure 45. Plus les impulsions sont larges, plus la tension continue moyenne est élevée, donc plus d'énergie est disponible au moteur.

A noter que la modulation de largeur d'impulsion est une approche totalement différente du contrôle le couple et la vitesse d'un moteur à courant continu. L'alimentation est fournie au

moteur sous la forme d'un signal de type onde carrée d'amplitude constante mais de largeur d'impulsion ou de rapport cyclique variable. Cycle de service fait référence au pourcentage de temps pendant lequel l'impulsion est élevée. [36]

La fréquence des impulsions est réglée suffisamment élevée pour garantir que l'inertie mécanique de l'armature lissera les rafales de puissance, et le moteur tourne simplement à une vitesse constante. [36] L'avantage de PWM par rapport à l'entraînement analogique est qu'il est de nature numérique, la puissance est allumée ou éteinte, il peut donc être contrôlé directement depuis un ordinateur avec un seul bit, éliminant le besoin d'un DAC. [36]

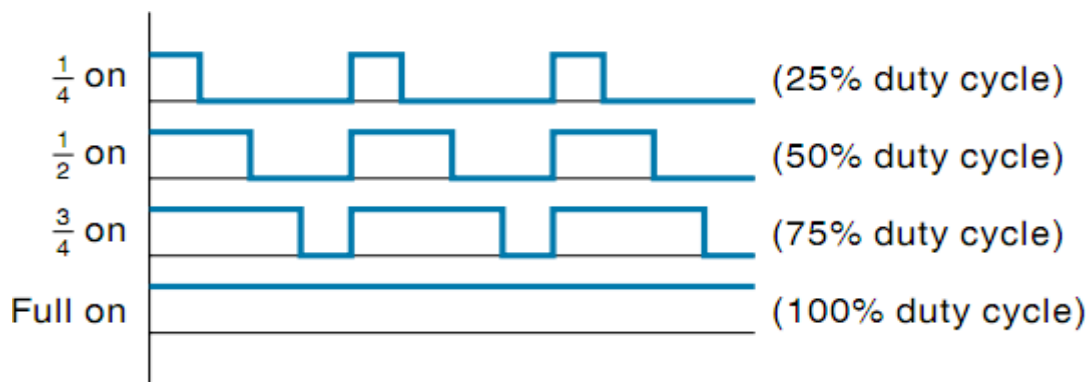


Figure II.45 : Signaux PWM avec différents cycles d'utilisation

II.2.2.5 Les Roues

Une roue est une pièce mécanique de forme circulaire tournant autour d'un axe passant par son centre figure 46. La roue est l'une des huit machines simples, et, de ce fait, est utilisée sous de très nombreuses formes.

La mobilité par roues est la structure mécanique la plus utilisée ; Ce type de robot assure un déplacement avec une accélération et une vitesse rapide mais nécessite un sol relativement plat. Dans le cas pratique, on rencontre principalement trois types de roues :

- Les roues fixes dont l'axe de rotation, passe par le centre de la roue.
- Les roues centrées orientables, l'axe orientable est perpendiculaire au sol, il passe par le centre de la roue.

- Les roues folles, elles sont appelées comme cela, du fait qu'elles sont décentrées orientables, pour lesquelles l'axe d'orientation est perpendiculaire au sol, il ne passe pas par le centre de la roue.



Figure II.46 : Les Roues du robot mobile

II.2.2.6 Le châssis

Le châssis, également connu sous le nom de plate-forme, est la partie principale et la structure du corps du robot, conçue pour se déplacer sur quatre roues motrices Figure 47. Cette plate-forme est destinée à transporter tous les composants électroniques et les éléments de fonctionnement du robot. Elle doit être conçue pour accueillir tous ces éléments en termes de taille et de poids, tout en résistant aux vibrations et aux chocs auxquels le robot est exposé dans son environnement de travail. [39]



Figure II.47 : La plate-forme du robot du robot

II.2.2.7 Le Servomoteur de type SG90

Un servomoteur de modélisme figure 48 se présente sous la forme d'un petit rectangle avec deux languettes sur les côtés pour la fixation et un axe décentré avec un bras (interchangeable) pour la liaison mécanique. [40] Il permet d'effectuer une rotation de son axe de 0° à 180° . Il est très adapté pour faire tourner quelque chose jusqu'à une position bien précise et capable de maintenir cette position jusqu'à l'arrivée d'une nouvelle instruction.

Ils sont très utilisés dans le modélisme (direction des voitures télécommandées, commande des gouvernes de dérive et de profondeur sur les avions, etc.), mais aussi dans la robotique et l'industrie et notamment dans exemple des vannes pour réguler des flux de liquides. [41]



Figure II.48 : Servomoteur de type SG90

❖ Composition d'un servomoteur

Le servomoteur est composé de plusieurs éléments visibles et invisible :

- Un moteur à courant continu
- Des engrenages pour former un réducteur (en plastique ou en métal)
- Un capteur de position de l'angle d'orientation de l'axe (un potentiomètre)
- Une carte électronique pour le contrôle de la position de l'axe et le pilotage du moteur à courant continu
- Les fils, qui sont au nombre de trois
- L'axe de rotation sur lequel est monté un accessoire en plastique ou en métal
- Le boîtier qui le protège

❖ Principe de fonctionnement

Comme le montre la figure 49, le servomoteur se présente sous forme d'un petit circuit électronique qui permet de contrôler un moteur à courant continu en fonction de la position d'un potentiomètre intégré au servomoteur. [41] La sortie du moteur à courant continu est reliée mécaniquement à une série d'engrenages qui augmente la force (le couple) du servomoteur en réduisant la vitesse de rotation de celui-ci. Lorsque le moteur tourne, les engrenages s'animent, Le bras bouge et entraine avec lui le potentiomètre.[42] Le circuit électronique ajuste continuellement la vitesse du moteur pour que le potentiomètre (et par extension le bras) reste toujours au même endroit. [42]

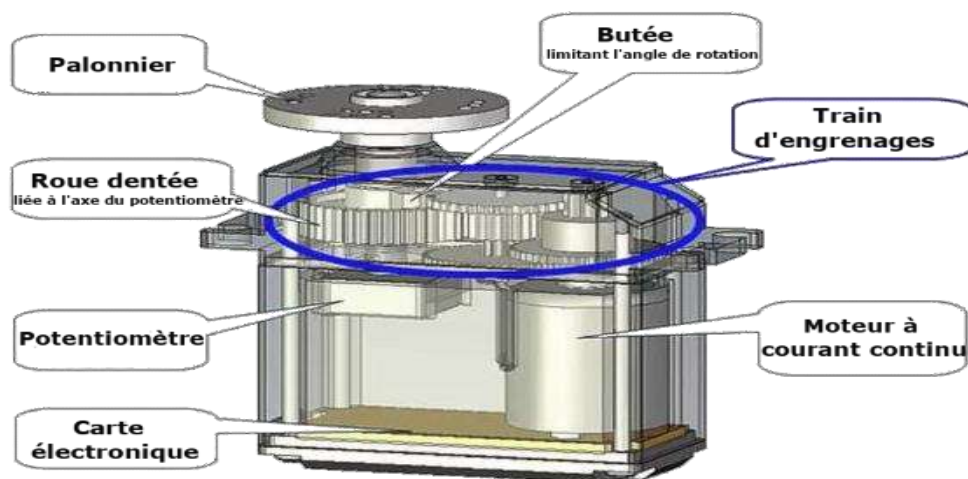


Figure II.49 : Représentation des composants du servomoteur

II.2.2.8 Relais (JQC-3FF-S-Z)

Un relais est un interrupteur à commande électrique qui peut être activé ou désactivé, laissant passer ou non le courant, et qui peut être contrôlé avec de faibles tensions, comme les 5 V fournis par les broches Arduino. [43]



Figure II.50 : Le relais (JQC-3FF-S-Z)

❖ Caractéristique

- Charge maximale : courant alternative 250 V/10 A, courant continue 30 V/10 A.
- Courant de déclenchement : 5 mA.
- Tension de fonctionnement : 5V/12V.
- Taille du Module : 50x26x18.5mm (L x L x H).
- Cc + : alimentation positive (VCC).
- Cc- : alimentation négative (GND).
- IN : peut-être un relais de contrôle de niveau haut ou bas.
- Non : interface de relais normalement ouverte.
- COM : relais d'interface communs

II.2.2.9 Pompe

La pompe à eau à débit réglable figure 51 est conçue entièrement submersible pour l'eau douce et l'eau salée.

Cette pompe peut être utilisé pour divers application avec la carte Arduino telle que notre projet de robot détecteur de flemme ou d'obstacle afin d'éteindre les flemmes lorsque le capteur de flemme détecte des rayonnements électromagnétiques émis par une flamme.

La pompe est facile à installer et doit être muni d'un tuyau pour transférer le liquide de l'entrée vers la sortie.[43]



Figure II.51 : Photo réelle de la mini pompe submersible

❖ Caractéristiques

Les spécifications techniques de la pompe sont citées dans le tableau ci-dessous.

Tension de fonctionnement	3-6V
Courant	100-200 mA
Maximum lift	30-80 Cm
Débit	1.2-1.6 L par minute
Diamètre intérieur d'entrée d'eau	5 mm
Diamètre intérieur de sortie d'eau	4.5 mm
Diamètre extérieur	7.5 mm
Polarité	VCC-GND

Tableau II.4 : Spécifications techniques de la pompe

II.2.3 Capteurs

Avant de donner la définition d'un capteur, il est nécessaire de connaître quelques définitions de métrologie.

- Le mesurande : c'est l'objet de la mesure ou plus simplement la grandeur à mesurer.
- Le mesurage : c'est l'ensemble des opérations pour déterminer la valeur du mesurande.
- La mesure c'est le résultat d'un mesurage. Autrement dit c'est la valeur du mesurande.

II.2.3.1 Définition d'un capteur

Le capteur est un instrument qui permet de déceler l'information contenue dans un objet ou issue d'un phénomène. Ce dispositif est soumis à l'action d'une mesurande non électrique, et fournit un signal électrique à sa sortie figure 52. Il va assurer la mesure permanente des grandeurs réelles en question.

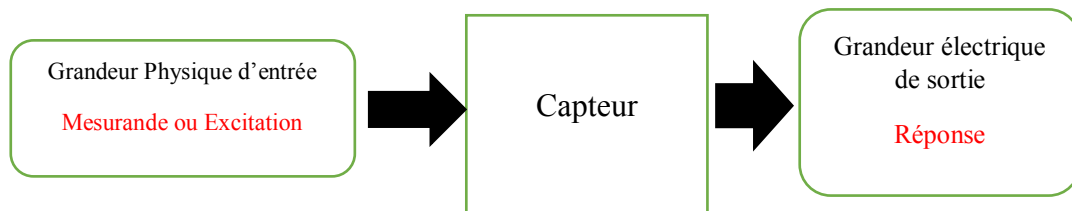


Figure II.52 : Principe de fonctionnement d'un capteur

Les capteurs typiquement installés sur un robot sont des capteurs ultrasonores, capteurs laser de proximité, des encodeurs de roues (odomètres), des caméras optiques et des microphones. Les types d'informations perçues ainsi que leur précision varient beaucoup d'un capteur à l'autre. Par exemple, un capteur laser de proximité permet de mieux percevoir les contours de l'environnement que les sonars puisque le capteur offre une meilleure résolution angulaire et une meilleure précision sur la distance [44][45].

II.2.3.2 Classification d'un capteur

La classification des capteurs est réalisée suivant les phénomènes qu'ils mesurent : force, énergie, distance, champ magnétique, etc. Par conséquent, la classification peut être élaborée suivant que les capteurs utilisent un phénomène physique générateur de tension ou de courant, on parle alors de **capteurs actifs**, ou qu'ils nécessitent une source d'alimentation pour pouvoir traduire la variation du phénomène en tension, ce sont alors **des capteurs passifs**. Ils peuvent se classer aussi selon le type d'information qu'ils délivrent soit analogique ou numérique.

En robotique mobile, on classe traditionnellement les capteurs en deux catégories selon qu'ils mesurent l'état du robot lui-même ou l'état de l'environnement dans lequel il évolue. Dans le premier cas, on parle de proprioception et donc de **capteurs proprioceptifs**. On trouve dans cette catégorie des capteurs de position, de vitesse des roues, ainsi que des capteurs de charge de la batterie.

Dans un second cas, les capteurs renseignant sur l'état de l'environnement, donc tous ce qui est extérieur au robot, sont appelés **capteurs extéroceptifs**. Il s'agit de capteurs donnant la distance du robot par rapport à un obstacle, la température, le contact du robot avec l'environnement, etc. La figure 53 illustre ces deux types de capteurs :

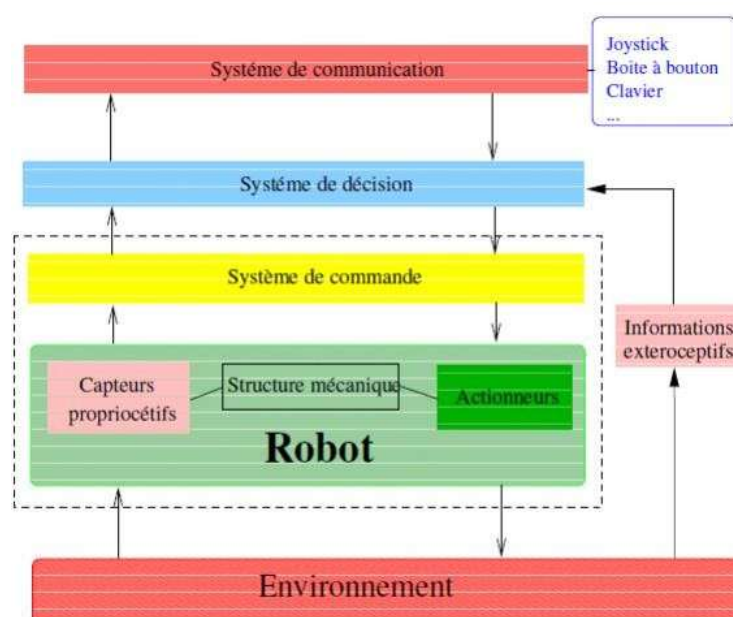


Figure II.53 : Architecture d'un robot

II.2.3.3 Photorésistance (LDR)

Une photorésistance est un composant dont la valeur en ohms dépend de la lumière à laquelle il est exposé figure 54. On la désigne aussi par LDR (Light Dépendent Résistor = résistance dépendant de la lumière).[46]

La principale utilisation de la photorésistance est la mesure de l'intensité lumineuse (appareil photo, systèmes de détection, de comptage et d'alarme...) Elle est fortement concurrencée par la photodiode dont le temps de réponse est beaucoup plus court. Les matériaux utilisés sont généralement du sulfure ou du sélénure de cadmium qui se comportent comme des semi-conducteur.[46]

Voici quelques exemples d'utilisations très classiques pour une photorésistance :

- Détection jour / nuit,
- Mesure de luminosité ambiante (pour ajuster un éclairage par exemple),
- Suiveur de lumière (pour panneaux solaires, robots, etc.).

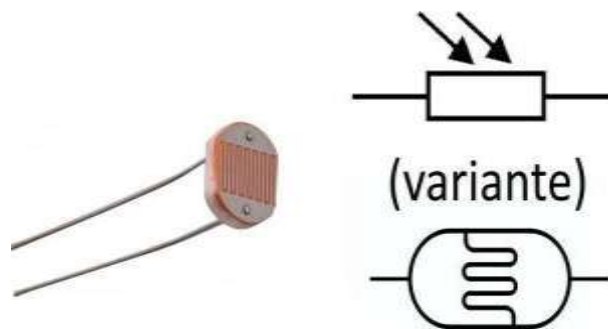


Figure II.54: Photorésistance et symbole

❖ Principe de fonctionnement

Entre les deux électrodes conductrices, il y a un semi-conducteur, représenté en rouge sur la figure 54, lorsque le semi-conducteur n'est pas allumé sa résistance est élevée, jusqu'à plusieurs mégohms. Lorsque cette zone est éclairée, sa conductivité augmente fortement et la résistance diminue en conséquence. [47]

Des matériaux tels que le sulfure de cadmium, le sulfure de plomb, le sélénite de cadmium et d'autres peuvent être utilisés comme semi-conducteur. La caractéristique spectrale dépend du choix du matériau dans la fabrication de la photorésistance. En termes simples - une gamme de couleurs (longueurs d'onde) lorsqu'il est éclairé par lequel la résistance d'un élément changera correctement. Par conséquent, en choisissant une photorésistance, vous devez considérer dans quel spectre elle fonctionne. Par exemple, pour les éléments sensibles aux UV, vous devez sélectionner les types d'émetteurs dont les caractéristiques spectrales conviennent aux photorésistances. [47]

II.2.3.4 Capteur Ultrasons de type HC-SR04

Ce type de capteur HC-SR04 figure 55 utilise les ultrasons pour déterminer la distance d'un objet. Il offre une excellente plage de détection sans contact, avec des mesures de haute précision et stables. Il est à signaler que la lumière du soleil ou les matériaux sombres, tels les vêtements qui puissent être difficiles à détecter, n'ont aucun impact sur le fonctionnement du capteur. [48]



Figure II.55 : Capteur Ultrasons de type HC-SR04

❖ Caractéristique de capteur Ultrasons

- Alimentation : 3,3 ou 5 Vcc
- Consommation : 15 mA
- Fréquence : 40 kHz
- Portée : de 2 cm à 4 m

- Déclenchement : impulsion TTL positive de $10\mu\text{s}$
- Signal écho : impulsion positive TTL proportionnelle à la distance.
- Calcul : distance (cm) = impulsion (μs) / 58
- Trous de fixation : 1,8 mm
- Dimensions : 45 x 20 x 18 mm
- Référence fabricant : HC-SR04

❖ Principe de fonctionnement du capteur HC-SR04

Avant d'expliquer le principe de fonctionnement, il faut savoir que l'ultrason est une onde sonore haute fréquence (plus 20 KHz) dont la fréquence dépasse la plage audible de l'audition humaine

Selon la figure 56, une courte impulsion ultrason est transmise à $t=0$, réfléchi par un objet. Le capteur reçoit le signal et le transforme en signal électrique. Après une période recommandée d'au moins 50ms, une deuxième pulsation peut être transmise lorsque l'écho a disparu. Si une pulsation de commande de $10\mu\text{s}$ est envoyée au pin signal, le module à ultrasons enverra 8 signaux ultrasons et détectera l'écho retour. La distance mesurée est proportionnelle à la largeur d'impulsion de l'écho reçu. Si aucun obstacle n'est détecté (pas d'écho), le pin de sortie enverra un signal de 38ms. [49]

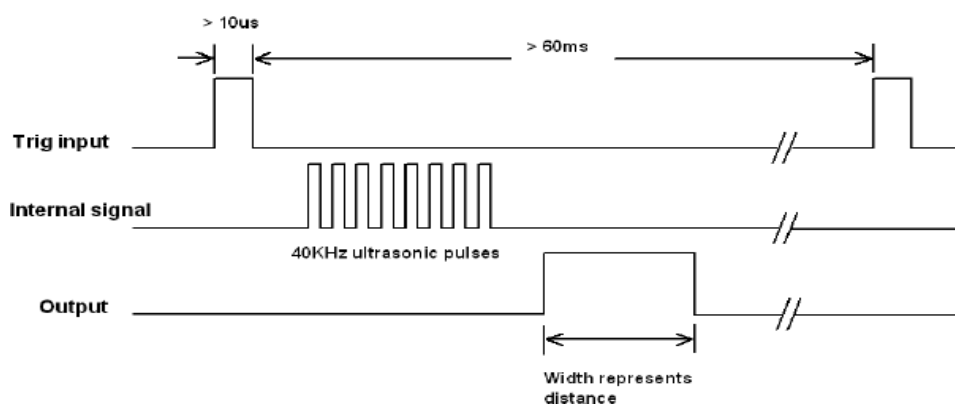


Figure II.56 : Fonctionnement du capteur HC-SR04

II.2.3.5 Capteur de flamme

Le détecteur de flamme détecte toute élévation de température ou présence de produits issus d'une combustion. Les flammes produisent des rayonnements caractérisés par une fréquence de scintillement plus ou moins intense dans des bandes spectrales spécifiques. Figure 57.

Le principe du détecteur de flamme est de répondre aux rayonnements électromagnétiques émis par une flamme, en les distinguant des rayonnements interférents présents dans l'environnement d'utilisation. [50] Les détecteurs de flamme optiques sont constitués de capteurs UV et/ou IR pour détecter ces rayonnements. Il existe trois catégories d'appareils pour détecter une flamme

- Les détecteurs dotés de capteurs Infra-Rouge (IR) ;
- Les détecteurs composés de capteurs Ultra-Violet (UV) ;
- Et les détecteurs combinant IR et UV (en général, ils sont constitués de deux capteurs IR et d'un capteur UV).



Figure II.57 : Capteur de flamme

❖ Les caractéristiques du capteur flamme

Module capteur de détection de flamme Capteur le plus sensible pour des longueurs d'onde infrarouge de la flamme entre 760 nm et 1100 nm. Il a deux sorties : [50]

AO : sortie analogique, signaux de tension de sortie sur la résistance thermique en temps réel,

DO : lorsque la température atteint à un certain seuil, signaux de seuil de sortie haute et basse est réglable par potentiomètre.

- Capteur de détection de 60 degrés Convient pour projet Arduino DIY
- Tension : DC 3 ~ 5.5V.
- Matériel : PCB Couleur : bleu + rouge + gris argent
- Dimension du produit : 3,5 x 1,5 x 1,2 cm
- Dimension de l'emballage : 80 x 41 x 15mm
- Poids : 5g.

II.2.4 Double Pont-H L298N

Il permet le contrôle de moteur continu (H-Bridge Motor Driver) figure 58. Il est basé sur le composant L298N qui est un double Pont-H conçu s pour ce cas d'utilisation. Il est très utile pour le contrôle de robots. En effet, il peut contrôler deux moteur courant continu ou un moteur pas-à-pas 4 fils 2 phases. Il est idéal pour un microcontrôleur car il peut supporter des tensions plus élevées, des courants importants tout en proposant une commande logique TTL (basse tension, courant faibles). Ajoutant à cela le fait qu'il peut aussi piloter des charges inductives comme des relais, solénoïdes, moteurs continus et moteurs pas-à-pas. [51]

❖ Les caractéristiques du module L298N

- Pilotage de moteur de tension nominale de 5 à 35V
- 2A courant maximum
- Tension 5V acceptées sur les broches Input
- Léger, petit
- Des capacités hors-pair pour contrôle moteur
- Diodes de protections
- Un dissipateur (pour dissiper la chaleur en cas de forte charge)
- Un sélecteur pour sélectionner la source d'alimentation
- 4 Sélecteurs pour les résistances pull up

- Sortie pour 2 moteurs continu/ 1 moteur pas-à-pas (4 bobines, deux phases)
- Indicateur LED pour sens de rotation moteur
- Indicateur LED pour alimentation 5V
- 4 trous de fixation standard

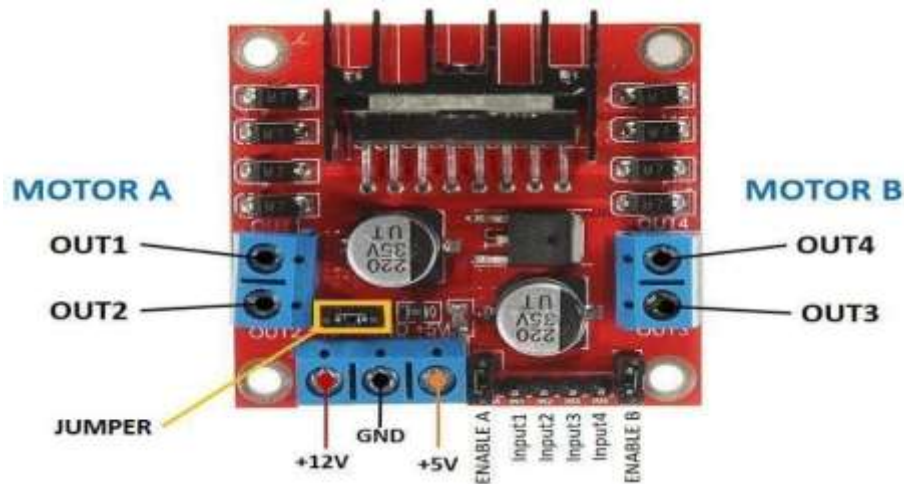


Figure II.58 : Carte de contrôle des moteurs « L298N »

II.2.4.1 Le pont en H L298N

Pour contrôler dans notre robot le moteur à courant continu ON/OFF ou CW/CCW, nous avons utilisé un pilote de moteur appelé pont en H. Le pont en H qui doit son nom à son apparence schématique de la figure 59 est composé de quatre transistors. Chaque transistor agit comme un simple interrupteur pour faire passer le courant à travers les enroulements du moteur dans les deux sens, changeant ainsi le sens de rotation du moteur. [52]

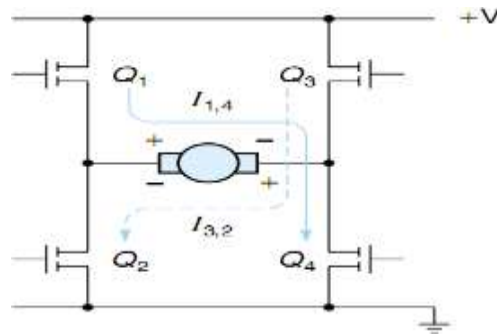


Figure II.59: Ponts en H pour contrôler le sens de rotation d'un moteur

II.2.5 Bluetooth

II.2.5.1 Définition

Le Bluetooth est un protocole de communication sans fil. Il a vu le jour à la fin des années 1990 et n'a vraiment percé que dans les années 2000.

Ce protocole est un cousin du Wifi. En effet, il utilise la même gamme de fréquences 2.4 GHz (Tout comme les téléphones portables par exemple). C'est une communication bidirectionnelle, deux modules peuvent communiquer ensemble en même temps. Le comportement utilisé est « maître/esclave ». [53]

Un esclave pourra parler avec un seul maître, mais un maître pourra dialoguer avec plusieurs esclaves.

Pour son utilisation, elle se passe en plusieurs étapes :

1. Le maître se met en mode « reconnaissable ».
2. L'esclave trouve le maître et demande à s'y connecter.
3. Le maître accepte la connexion.
4. Les périphériques sont alors appariés (ou associés).
5. La communication peut commencer.

II.2.5.2 Présentation du module Bluetooth HC-05

La figure 60 représente le module Bluetooth SPP (protocole de port série) facile à utiliser, conçu pour la configuration d'une connexion série sans fil transparente. Sa communication s'effectue via une communication série, ce qui facilite l'interface avec le contrôleur ou le Pc. Et il ne peut utiliser ni la réception ni la transmission de données, car il fournit un mode de commutation entre les modes maître et esclave. Ce module peut être configuré selon deux modes de fonctionnement : le mode commande et le mode données. [54]

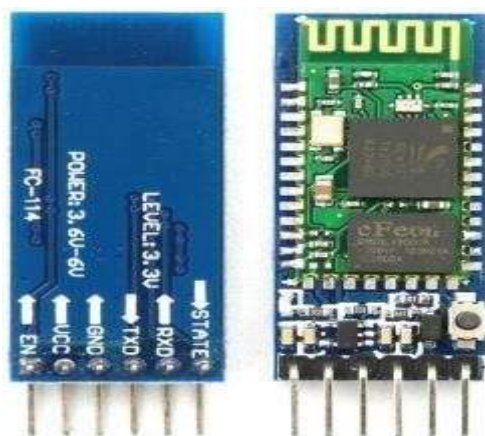


Figure II.60: Module Bluetooth HC_05

❖ Caractéristiques de Module Bluetooth HC_05

Ce module Bluetooth HC-05 peut être configuré comme étant émetteur ou récepteur. En mode transmetteur il peut s'apparier avec un récepteur. En effet, en mode récepteur (par défaut) il peut s'apparier avec un émetteur comme un téléphone, un ordinateur Bluetooth.[54]

- En : C'est la broche d'activation. Lorsque cette broche est flottante ou connectée à 3,3 V, le module est activé. Si cette broche est connectée à GND, le module est désactivé.
- + 5V : C'est la broche d'alimentation pour connecter + 5V. Comme le module possède un régulateur intégré de 3,3 V, vous pouvez fournir une alimentation + 5V.
- GND : C'est la broche de terre.

- TX : C'est la broche de l'émetteur de la communication UART.
- RX : C'est la broche de réception de l'UART.
- ÉTAT : Ceci est une broche indicatrice d'état. Cette broche passe à BAS lorsque le module n'est connecté à aucun périphérique. Lorsque le module est associé à n'importe quel périphérique, cette broche passe à HIGH.

II.3 Discussion

Dans ce chapitre nous avons donnés quelques concepts théoriques et nous avons expliqués chaque composant principal du notre montage. Le bon fonctionnement de tous les matériaux cités ici est essentiel pour le fonctionnement global de notre système.

Pour l'Arduino, nous avons expliqués un de ces deux parties essentielles : la partie matérielle en citant ses caractéristiques et la composition particulière d'Arduino Uno. La partie de programmation sera expliquée dans le prochain chapitre.

*Chapitre III : Conception et mise en œuvre du robot
Tests et résultats*

III.1 Préambule

Après avoir exploré les bases théoriques et les spécifications techniques dans les chapitres précédents, nous allons maintenant nous concentrer sur le processus de transformation de ces concepts en un système fonctionnel, de l'étude matérielle à la programmation logicielle en passant par l'assemblage des composants.

III.2 Les éléments utilisés pour le fonctionnement de notre robot

- Une carte Arduino Uno
- Un châssis équipé de deux moteurs à courant continu (DC) ainsi que deux roues motrices
- Un module Bluetooth HC-05 pour connecter la carte ARDUINO et la tablette
- Un capteur ultra-son HC-SR04 pour mesurer la distance
- Des fils électriques (male/femelle)
- Un fer à souder léger et du fil d'étain
- Une tablette sous Android
- Une carte de puissance L298N pour piloter les moteurs
- Photo résistance (LDR)
- Pompe à eau
- Relais (JQC-3FF-S-Z)
- Le Servomoteur de type SG90 pour positionner un capteur à ultrasons
- Deux capteurs de flemme
- Les LED
- Une batterie 3.7V pour l'alimentation du robot.

III.3 Réalisation matérielle

La réalisation de la carte de commande pour un robot mobile sera effectuée en utilisant une carte Arduino Uno, contrôlée à distance par une application mobile MIT AI2 Companion via une liaison Bluetooth avec le module HC-05. Pour ce faire, nous avons d'abord testé séparément chaque composant du système. Ils ont été montés à l'aide du logiciel FRITZING pour vérifier leur bon fonctionnement. Après avoir confirmé que tous les composants fonctionnaient correctement de manière individuelle, nous les avons ensuite regroupés et connectés à la carte Arduino Uno pour constituer notre système de contrôle.

- **Fritzing**

Fritzing est un logiciel de simulation open-source multiplateformes comprenant de différentes vues : platine d'essai, schémas électriques et circuit imprimé. Il sert à construire des schémas des circuits que nous utilisons avec Arduino et les tester avec le code fait sous Arduino IDE, il permet la sauvegarde des schémas de connexions pour que l'utilisateur puisse reprendre plus tard le montage fonctionnel avec son programme. [55]

III.3.1 Branchement de la communication Bluetooth HC-05 /Arduino

Le schéma de branchement du module Bluetooth à la carte Arduino Uno est illustré ci-dessous. Ce module communique avec la carte Arduino via une liaison série, établie sur les broches RX et TX définies dans notre programme [56]. Le module HC-05 permet une communication unidirectionnelle avec la carte Arduino, grâce à l'application mobile MIT AI2 Companion, qui nous permet de contrôler le robot mobile. Cette figure nous montre le câblage du module Bluetooth HC-05 avec la carte Arduino. La figure 61 représente le câblage du module Bluetooth HC-05 avec la carte Arduino.

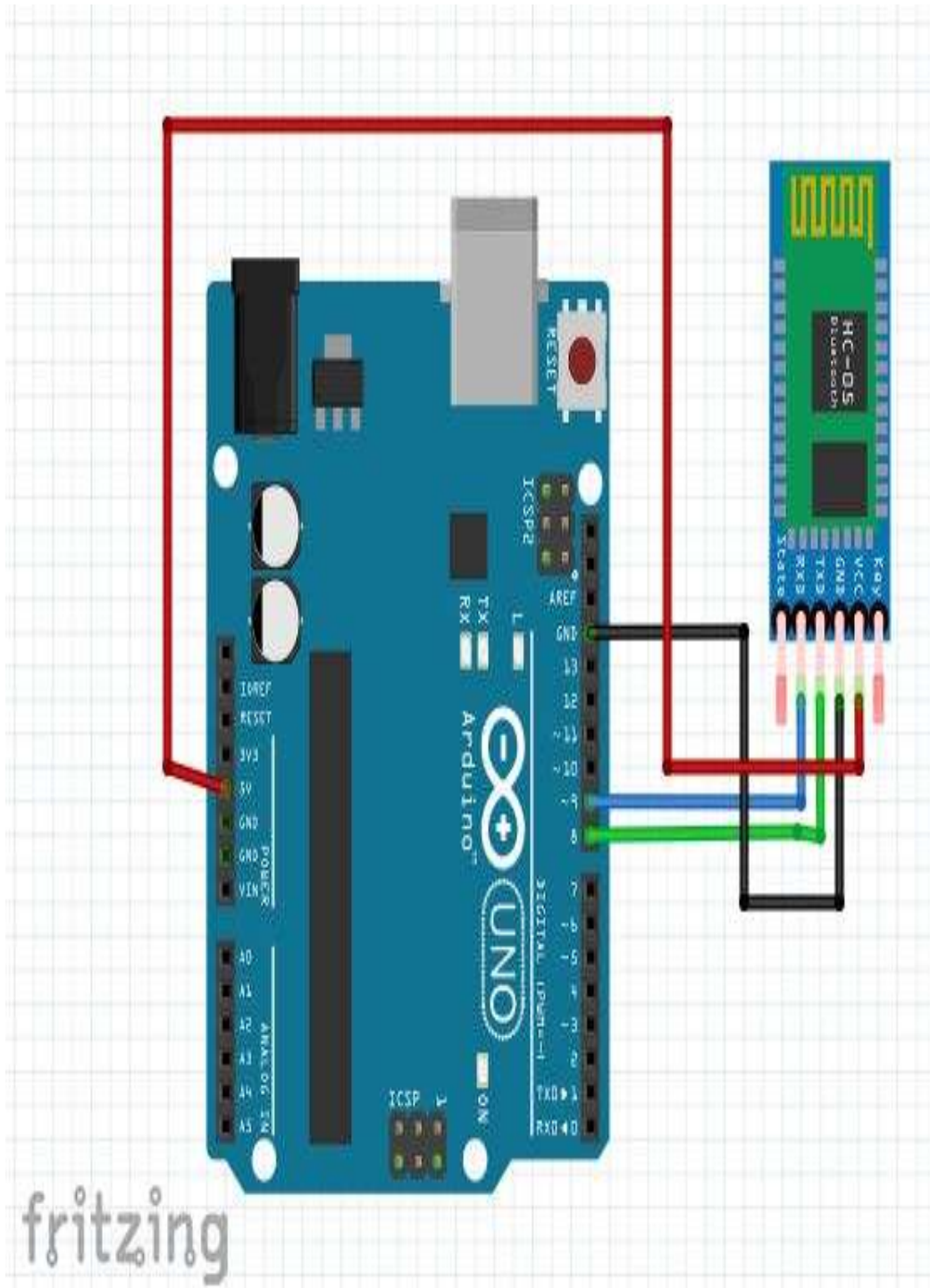


Figure III.61 : Exemple de câblage du module Bluetooth HC-05 avec Arduino

L'Organigramme du fonctionnement du module HC-05 est donné comme suit :

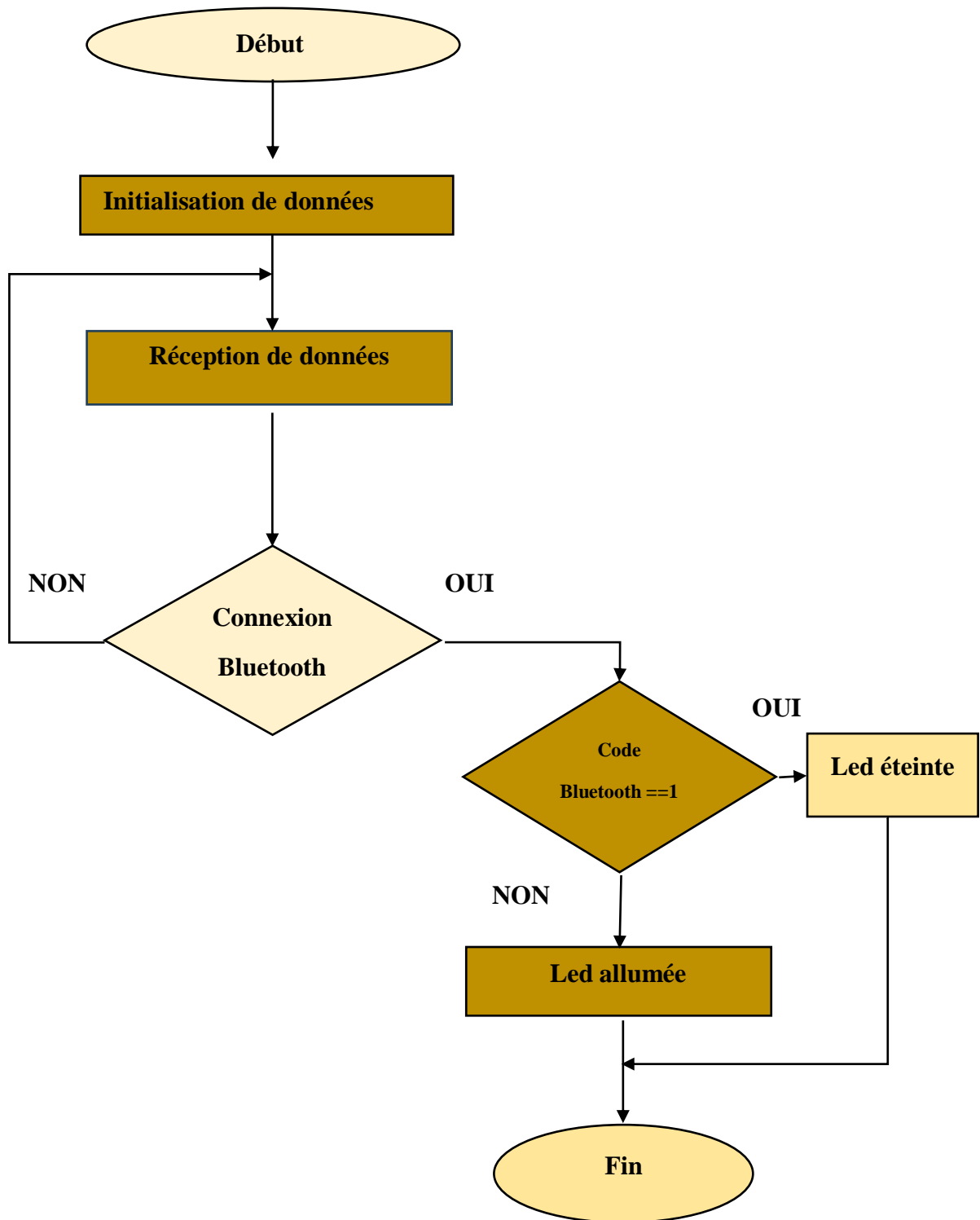


Figure III.62 : Organigramme de fonctionnement du module HC05

III.3.2 Branchement du Capteur Ultrasons HC-SR04

Nous avons réalisé un montage, illustré à la figure ci-dessous, On l'a connecté à la broche A0 et A1 de la carte Arduino. Pour tester le capteur à ultrasons HC-SR04 une LED rouge a été connectée à la broche 13 de la carte Arduino. La LED s'allume chaque fois que le capteur détecte un objet à une distance inférieure à 25 cm, et s'éteint en l'absence d'obstacle.

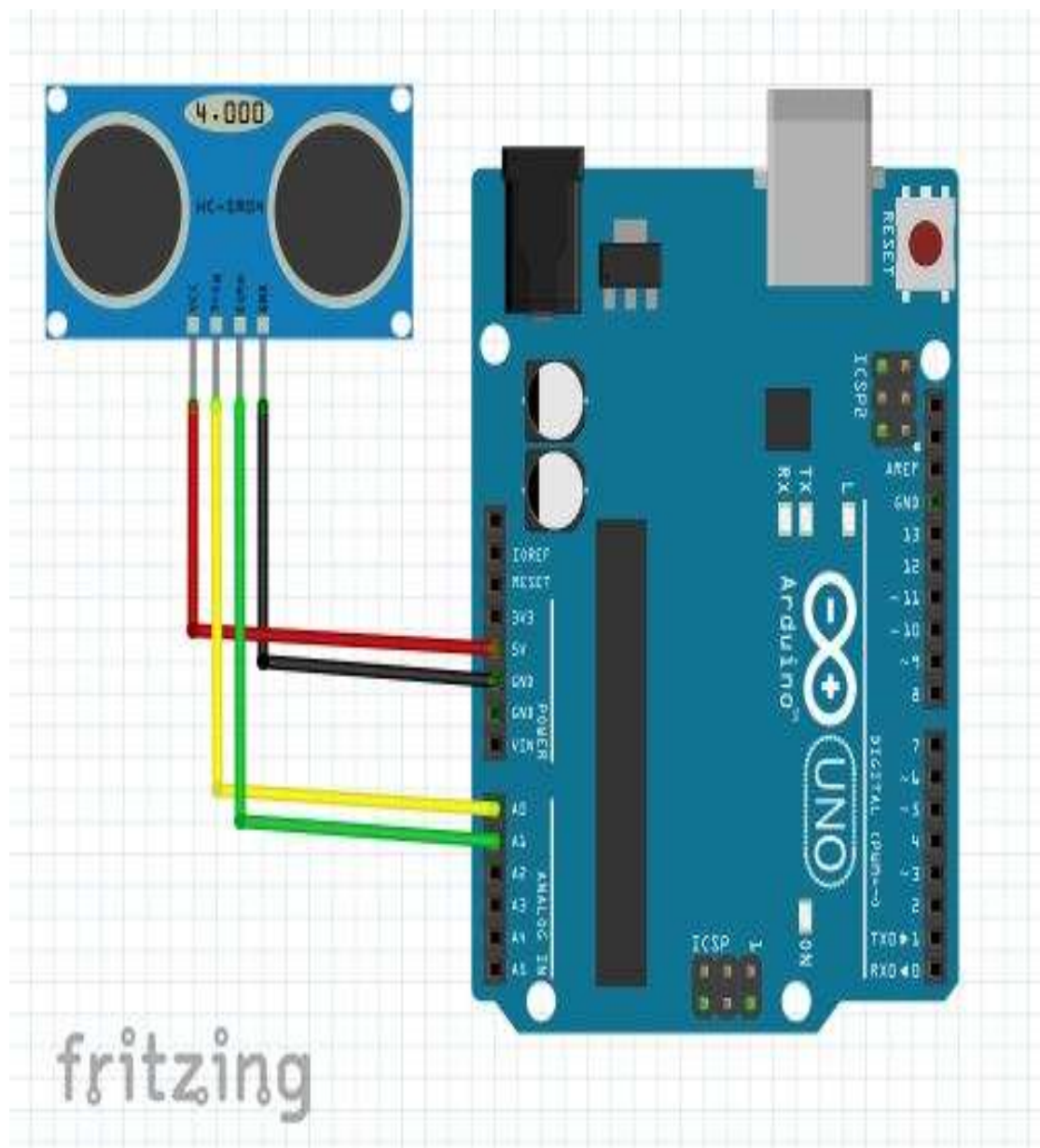


Figure III.63 : Câblage du capteur HC-SR04

L'organigramme de fonctionnement du capteur HC-SR04 est donné comme suit :

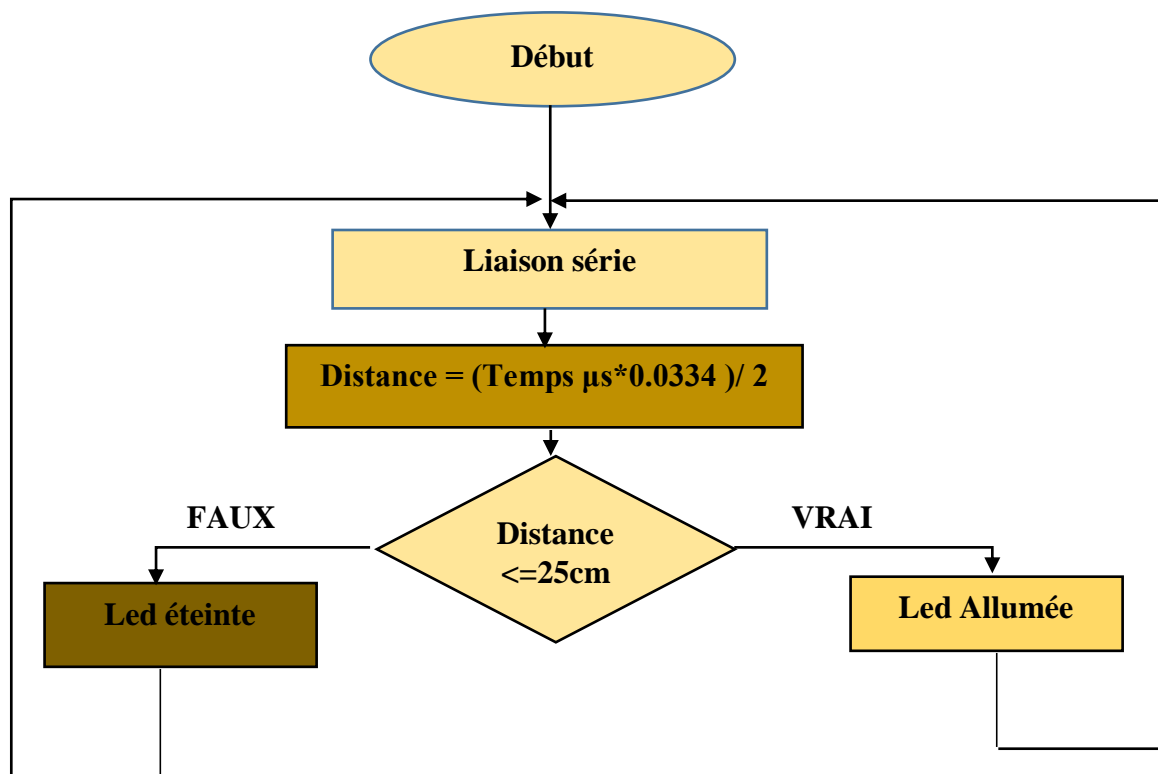


Figure III.64: Organigramme du fonctionnement du capteur ultrason

III.3.3 Capteur de flamme

Le module capteur de flamme permet la détection de flamme à l'aide d'un récepteur infrarouge qui va capter les émissions lumineuses de sources de chaleur.

➤ Principe de fonctionnement

Toutes sources de chaleur (au-delà de 0Kelvin) émettent une lumière infrarouge. Le module de détection de flamme KY-026 pour Arduino mesure l'intensité de la lumière infrarouge émise par le feu sur une plage de longueur d'onde comprise entre 760 à 1100 nm. Le module dispose

de sorties numériques et analogiques et d'un potentiomètre pour régler la sensibilité. Utilisé couramment dans les systèmes de détection d'incendie. Le capteur peut être alimenté par la sortie 5V de l'Arduino.

Nous avons réalisé un montage donné sur la Figure 65 pour tester le composant.

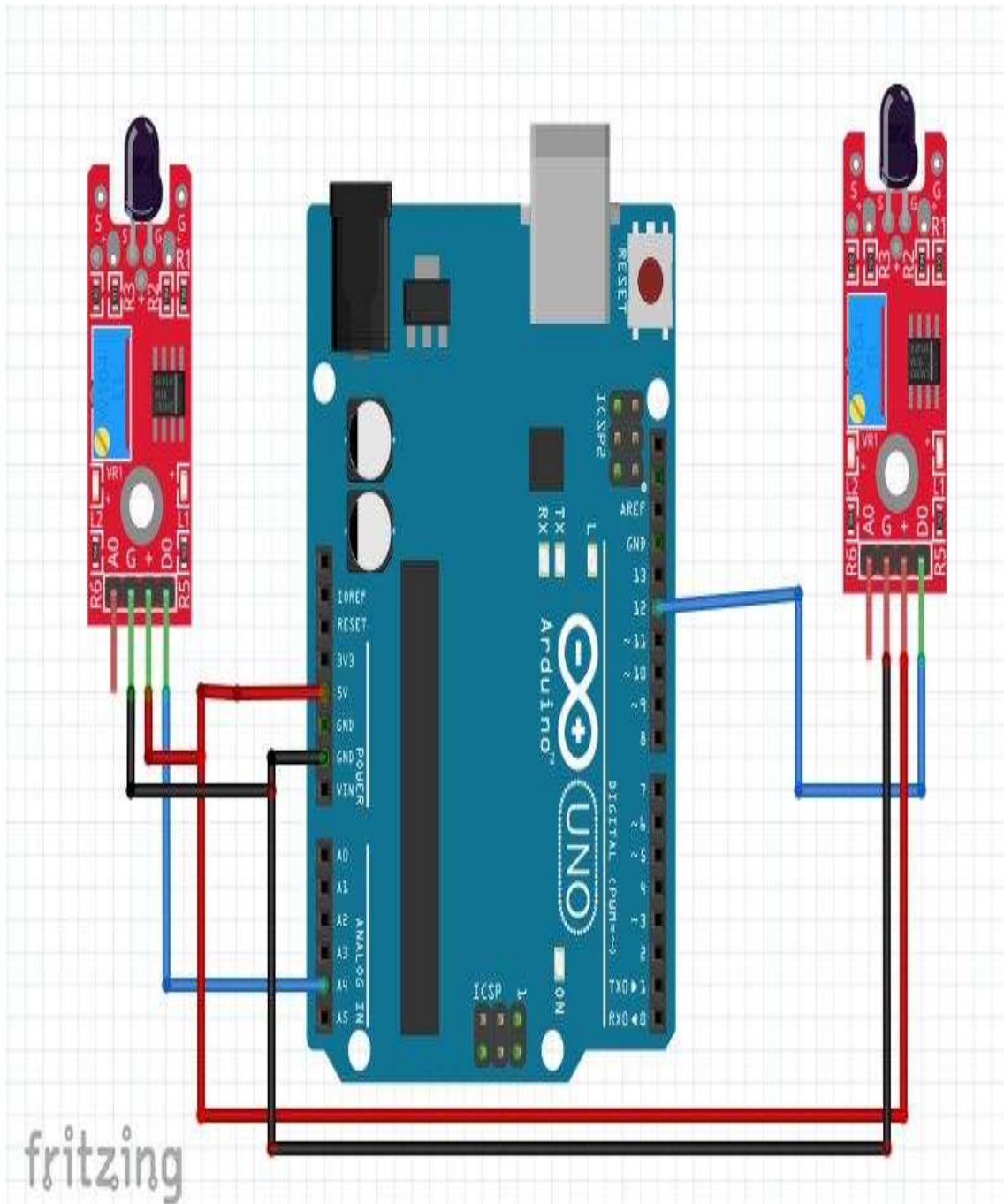


Figure III.65 : Câblage de Capteur de flamme

L'Organigramme du fonctionnement du Capteur de flamme est donné comme suit :

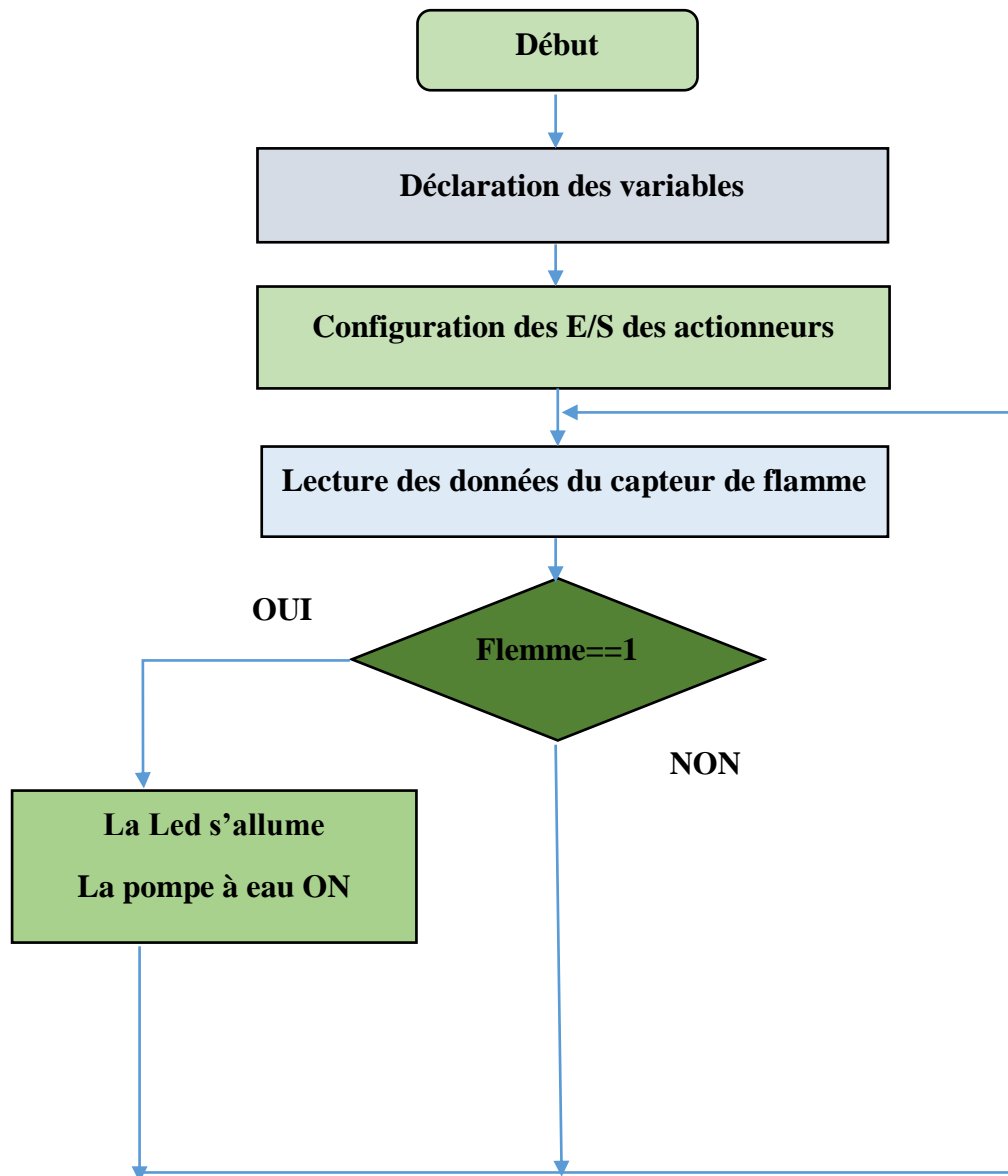


Figure III.66 : Organigramme du fonctionnement du capteur de flemme

III.3.4 Le module L298N

Le module de pilotage de moteurs L298 N (H- bridge) nous permet d'administrer la vitesse Et la direction de deux moteurs à courant continu ou d'un moteur pas à pas, de façon très Simple. L298N intègre un régulateur de tension permettant d'obtenir du module un voltage De 5V, idéal pour notre Arduino. Ce régulateur marche si on alimente le module avec une Tension maximale de 12 V. [57]

III.3.4.1 Principe de fonctionnement du circuit L298N

Le module L298N est une carte de développement basé sur le circuit intégré L298N permettant le pilotage de moteur à courant continu ou d'un moteur pas-à-pas. Pour mettre les moteurs en rotation, les signaux d'entrée fournis aux broches sont interprétés comme étant LOGIC 0 ou LOGIC 1 [44]. Pour faire tourner le moteur dans le sens des aiguilles d'une montre, les broches d'entrée doivent être configurées avec une LOGIC 1 et une LOGIC 0 respectivement. Lorsqu'une broche d'activation est à un niveau haut (LOGIC 1), le pilote associé est activé. Cela signifie que les sorties deviennent actives et fonctionnent en phase avec leurs entrées. En revanche, lorsque l'entrée d'activation est basse (LOGIC 0), ce pilote est désactivé. Par conséquent, les sorties sont également désactivées et se trouvent dans un état de haute impédance. [57]

III.3.5 Commande des moteurs

Les composants que nous avons utilisés pour commander les moteurs sont décrits ci-
Après.

III.3.5.1 Utilisation de L298N pour commander deux moteurs DC

Le L298N nous offre la possibilité de contrôler deux moteurs à courant continu de manière indépendante, permettant leur rotation dans les deux sens avec une carte Arduino.

III.3.5.2 Le branchement du module L298N

Pour contrôler un moteur à courant continu de faible puissance (max 0,6 A) dans les deux sens de rotation et faire de la variation de vitesse le shield moteur L298N est une bonne solution. L'interface moteur est équipée d'un circuit intégré L298N permettant de piloter deux moteurs à courant continu dans les deux sens de rotation ou pour réduire ou accélérer la vitesse du moteur []. Le module L298N contient un régulateur de tension qui génère une tension de sortie de 5V, parfaitement adaptée à notre Arduino. Ce régulateur fonctionne efficacement lorsque le module est alimenté avec une tension maximale de 12V. En d'autres termes, en connectant une source d'alimentation pouvant fournir jusqu'à 12V à l'entrée du L298N, nous obtenons en sortie une tension stable de 5V pour alimenter notre Arduino comme illustré dans la figure 67.

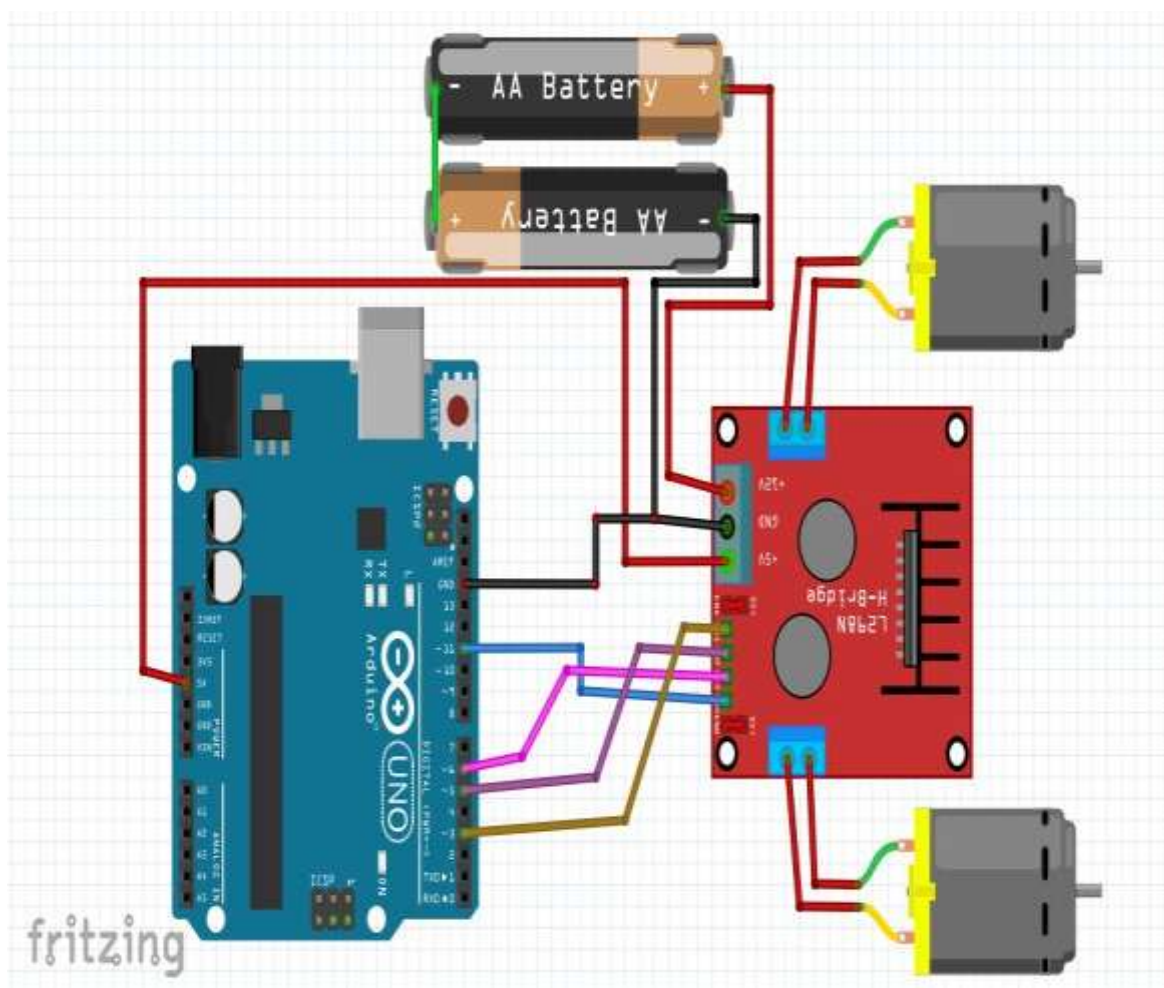


Figure III.67: Câblage du module L298N avec deux moteurs DC sous Arduino

Remarque

Le module de pilotage de moteurs L298N (H-bridge) nous permet d'administrer la vitesse et la direction de deux moteurs à courant continu ou d'un moteur pas à pas, de façon très simple. Le pont en H ou H bridge est une structure électronique formée par 4 transistors qui nous laissent inverser le sens du courant permettant d'inverser, également, le sens de rotation du moteur.

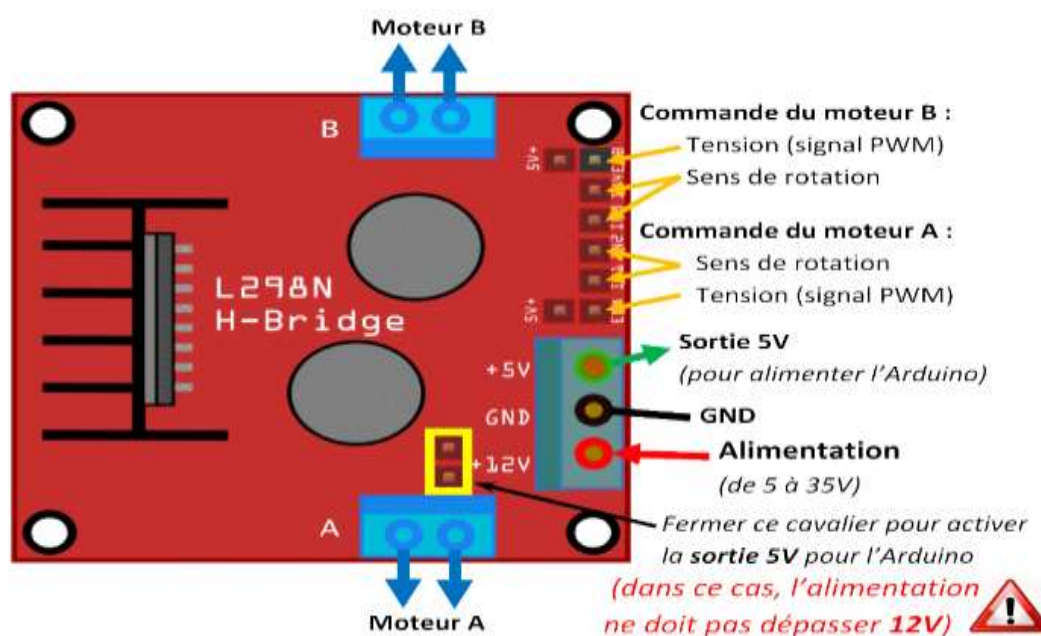


Figure III.68: Composants du module de pilotage de moteurs L298N

- Les ports ENA et ENB permettent de gérer l'amplitude de la tension délivrée au moteur, grâce à un signal PWM.
- Les ports In1, In2 pour le moteur A et In3, In4 pour le moteur B, permettent de contrôler le pont en H et par conséquent le sens de rotation des moteurs.

L'Organigramme du fonctionnement du L298N est donné comme suit :

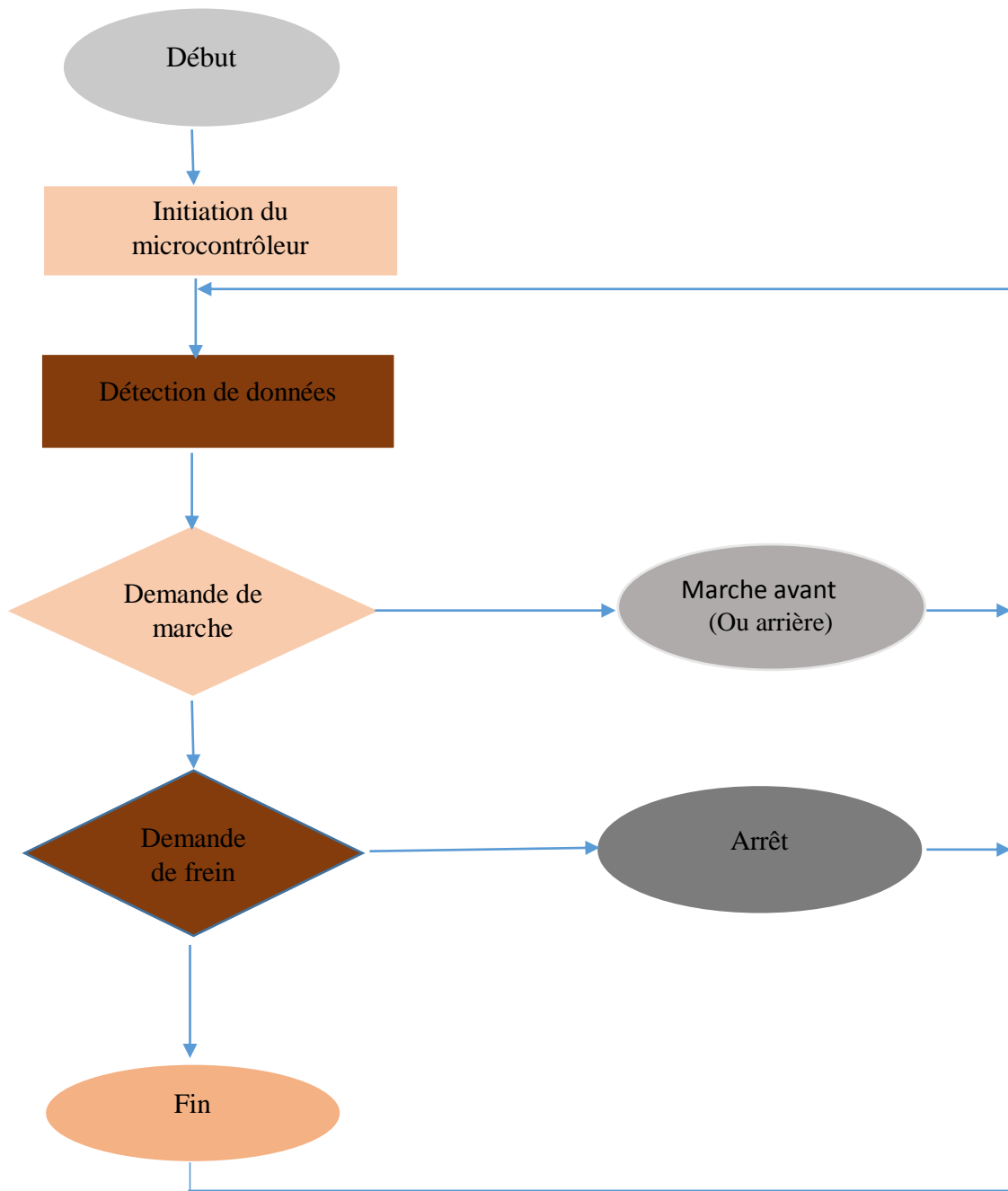


Figure III.69: Organigramme de fonctionnement du L298N avec deux moteurs D

III.3.6 Le servomoteur

Le servomoteur est commandé par l'intermédiaire d'un câble électrique à trois fils qui permet d'alimenter le moteur et de lui transmettre des consignes de position sous forme d'un signal codé en largeur d'impulsion plus communément appelé PWM. [58]

Rouge : Pour l'alimentation positive (4.5V à 6V en général).

Noir ou marron : Pour la masse (0V).

Orange, jaune, blanc : entrée du signal de commande.

Le schéma de câblage du servomoteur, tel qu'illustré dans la figure ci-dessous :

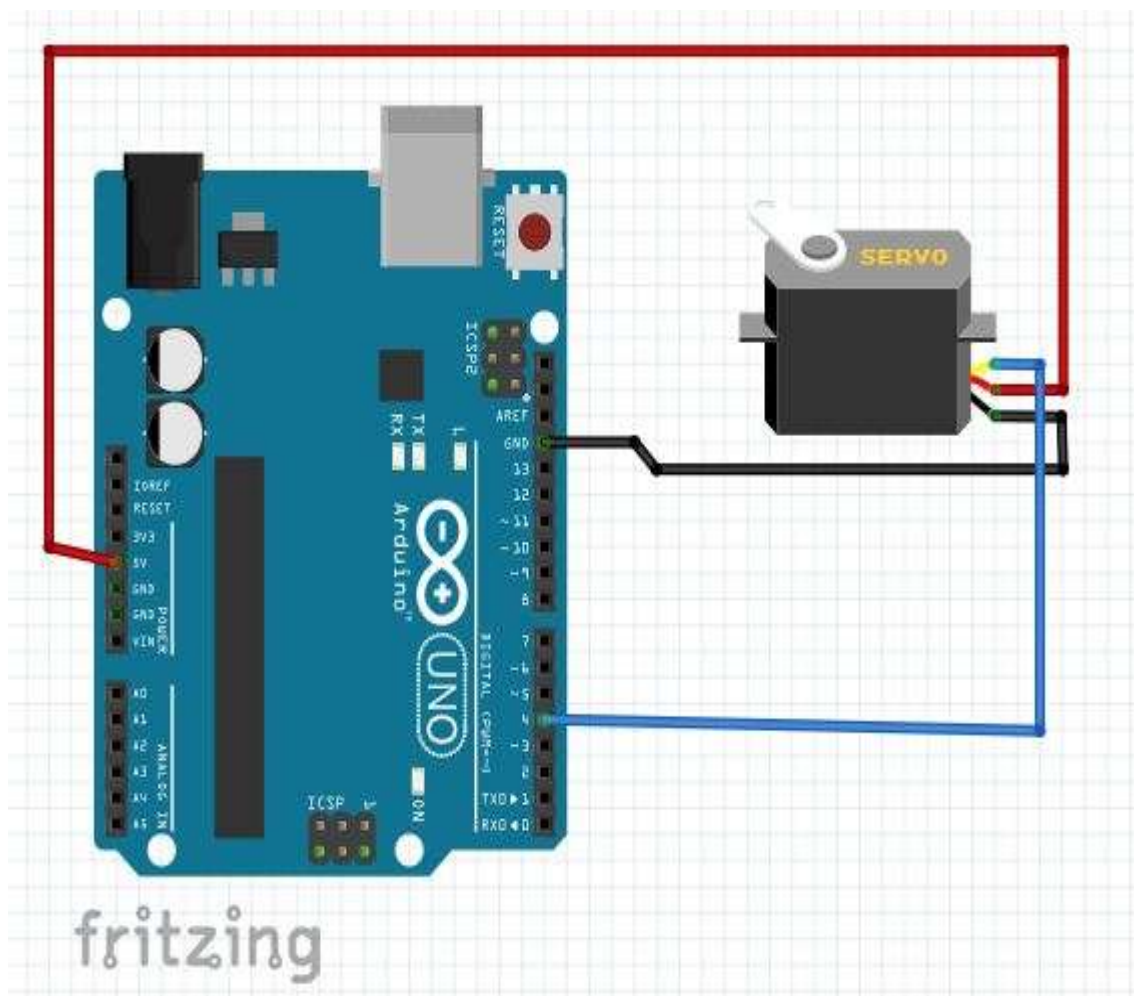


Figure III.70 : Schéma de câblage du servomoteur

Pour faire bouger l'axe de sortie il faut lui envoyer une impulsion. C'est la largeur de cette impulsion qui détermine l'angle de rotation de l'axe de sortie. Dans notre cas, nous utilisons les servomoteurs pour diriger le robot dans les deux sens gauches et droite figure 71 : [58]

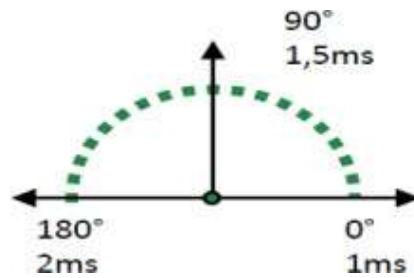


Figure III.71 : Les angles de rotation d'un servomoteur

III.3.7 Le branchement de la pompe à eau

La pompe à eau est utilisée pour éteindre les flammes détectées, lorsque le capteur de détecte le rayonnement émis par la flamme. Pour connecter la pompe à eau à l'Arduino, nous devons utiliser un relais. Le relais est utilisé pour contrôler la pompe à eau en fonctions des données du capteur de flamme. Pour connecter le relais à l'Arduino, nous devons connecter la broche VCC du relais à la broche 5V de la carte Arduino.

Le schéma de câblage de la pompe à eau, tel qu'illustré dans la figure ci-dessous :

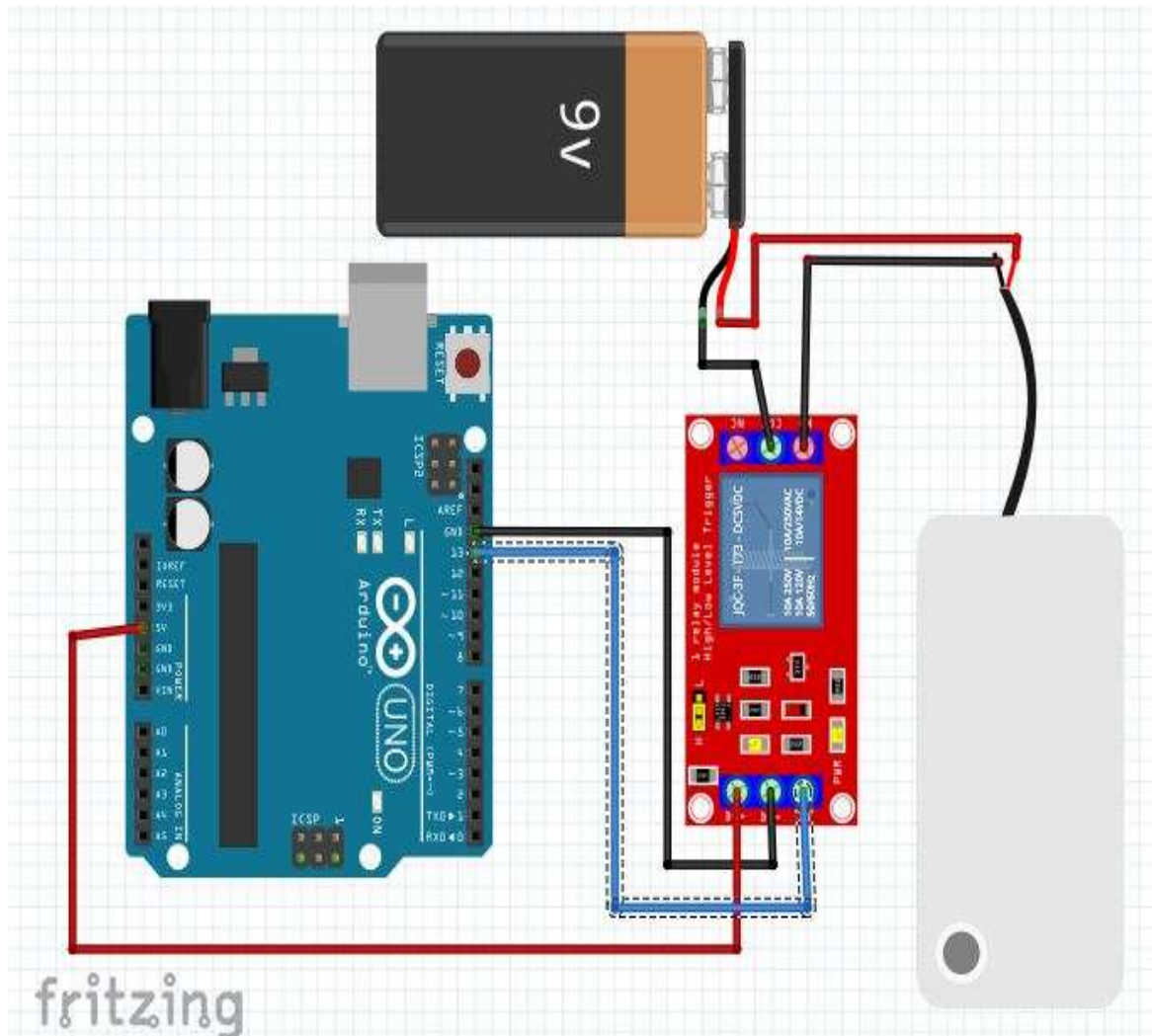


Figure III.72: Schéma de câblage du la pompe à eau

III.3.8 La batterie

L'alimentation des composants est garantie par deux piles de 3.7V figure, d'ampérage 6800 milliampère(Mah), embarquées sur notre robot mobile.



Figure III.73: les piles utilisés dans notre robot

III.4 La partie commande

Pour réaliser notre projet, nous avons utilisé divers logiciels et applications. La description de la partie logicielle est détaillée ci-dessous.

III.4.1 Application Android

L'application Android est une application gratuite que l'on peut développer sur le site MIT App Inventor et installer sur un téléphone portable. Elle permet de contrôler notre robot en mode manuel et automatique depuis notre smartphone.

III.4.1.1 Commande à distance du robot via Bluetooth

L'utilisation d'un Schield Bluetooth nous offre une alternative à la commande par câble USB utilisée au début de ce projet. Nous avons également réussi à contrôler notre robot avec un téléphone portable à l'aide d'une application Android Figure 72. Pour cela, nous avons écrit un programme dans Arduino IDE permettant de commander notre robot de manière autonome ou manuelle depuis le téléphone. Chaque bouton de l'application a été affecté à un code spécial pour exécuter des actions spécifiques.

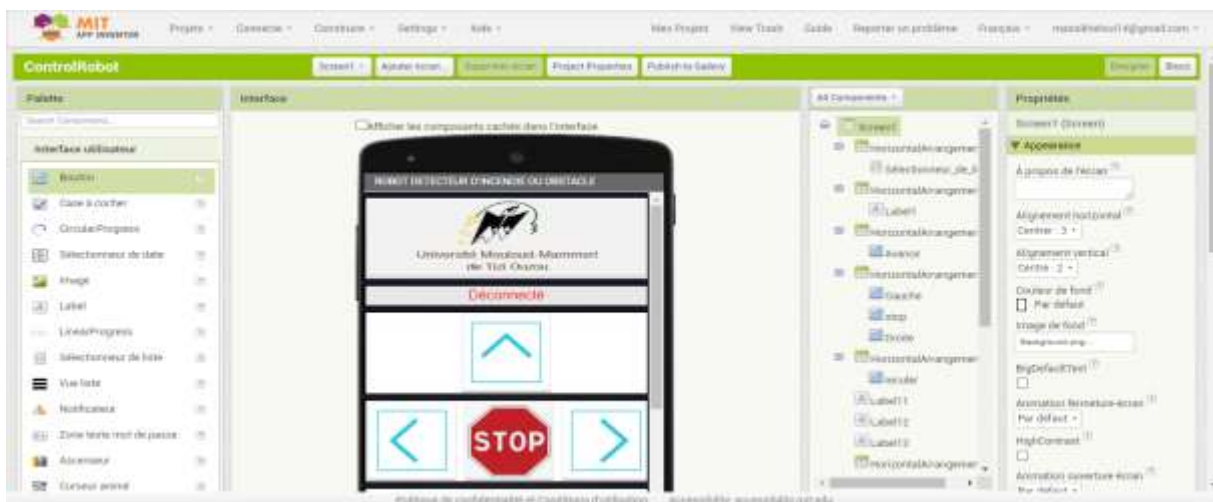
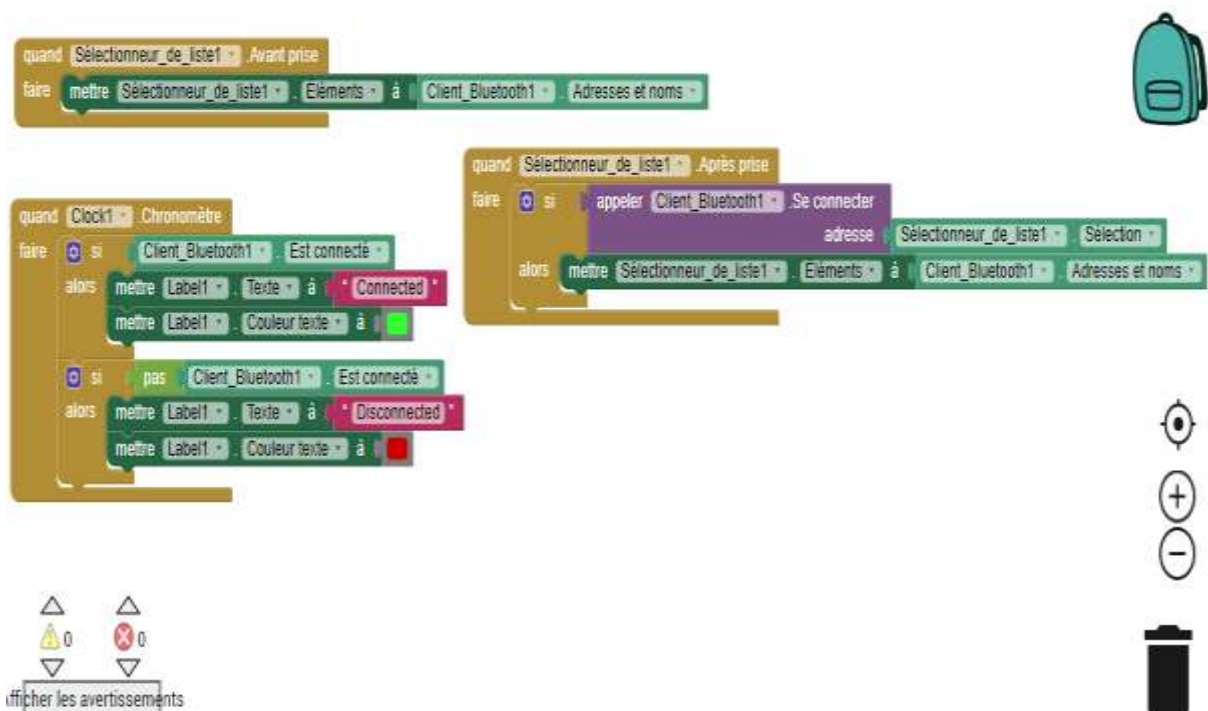




Figure III.74 : Application Androide pour commande le robot

III.4.1.2 Configuration de l'application via Bluetooth

La configuration de l'application via Bluetooth utilise le langage App Inventor pour Android, développé par Google. Cette application simplifie le développement des applications sous Android en utilisant une interface graphique attirante. Le programme de l'application Android est illustré par la figure ci-dessous :



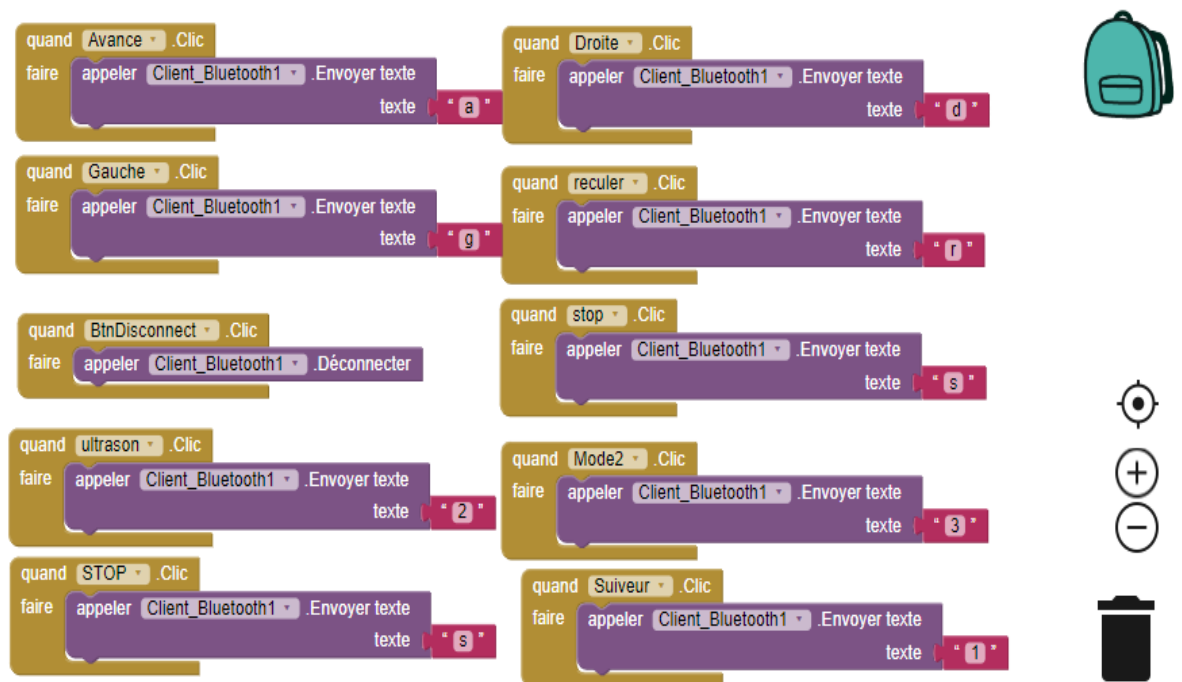


Figure III.75 : Le programme de l’application Androide

III.5. Réalisation du robot

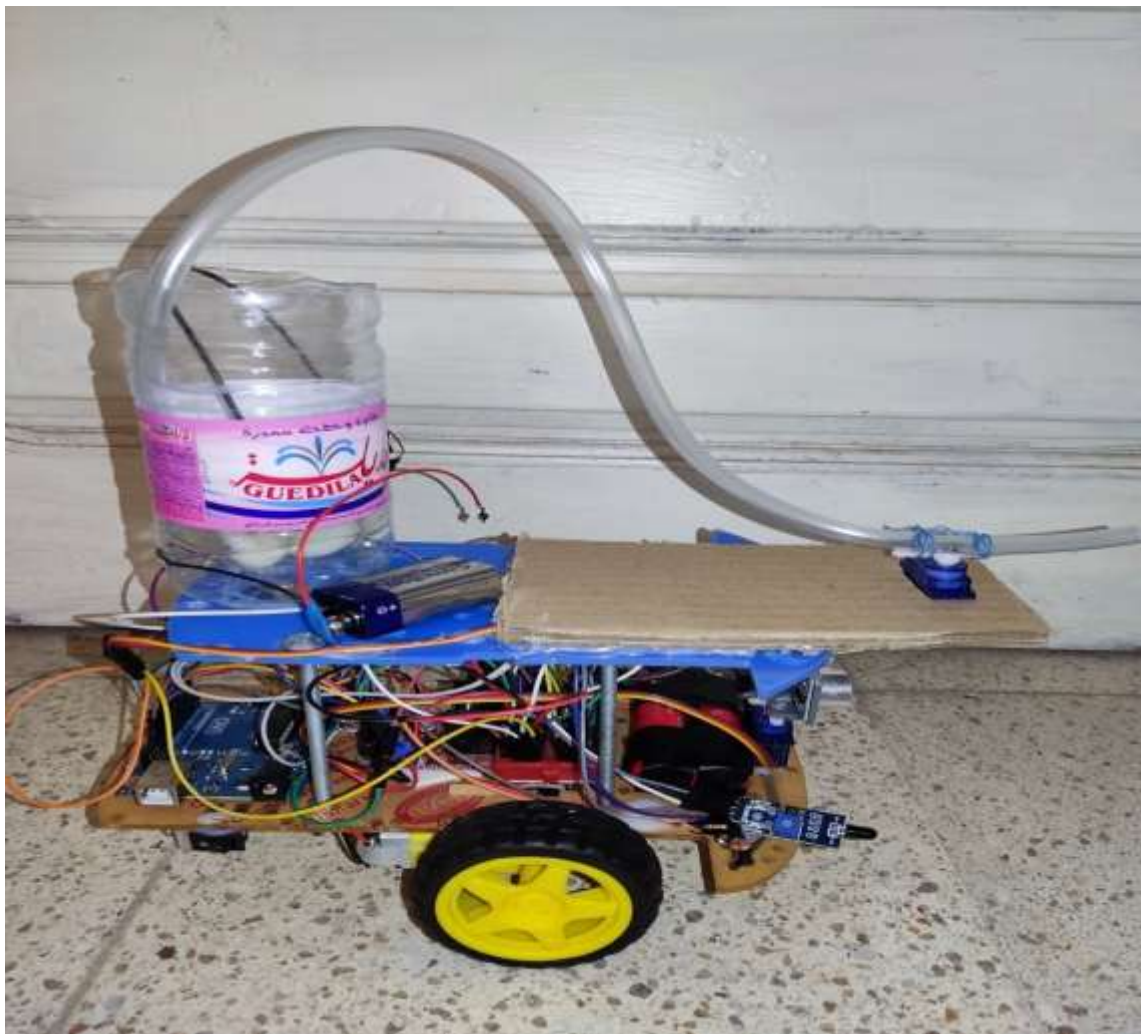
Notre robot, conçu pour ressembler à une voiture, est équipé de trois roues standard associées à des suspensions et des pneus robustes.

Le robot est équipé de deux modes de fonctionnement principaux : le mode "obstacles" et le mode "flamme".

En mode "obstacles", le robot utilise le capteur ultrason HC-SR04 pour détecter la présence d'obstacles devant lui. Lorsque le capteur mesure une distance inférieure à 25 cm, il envoie un signal à la carte Arduino Uno qui allume la LED rouge pour signaler la détection d'un obstacle. En parallèle, le robot utilise les moteurs à courant continu couplés au pont en H L298N pour ajuster sa trajectoire et éviter la collision. Le servomoteur SG90 permet de positionner le capteur ultrason pour balayer un champ de vision plus large.

En mode "flamme", le robot utilise les deux capteurs de flammes pour détecter les changements de direction voulus par l'utilisateur. Lorsque le robot détecte un mouvement, il

envoie un signal au module Bluetooth HC-05 qui transmet l'information à la tablette Android. L'utilisateur peut alors contrôler à distance le déplacement du robot en avant, en arrière, à gauche ou à droite via l'application MI INVENTOR sur sa tablette. La photorésistance LDR permet de détecter l'environnement lumineux et d'ajuster le comportement du robot en conséquence. La pompe à eau est utilisée pour éteindre les flammes. Le relais donc est utilisé pour commander les actionneurs (moteur, pompe) et les contrôler à distance en utilisant un signal électrique de faible puissance, court-circuite le système au cas d'une surcharge, tandis que la batterie 3.7V assure l'alimentation électrique stable du robot.



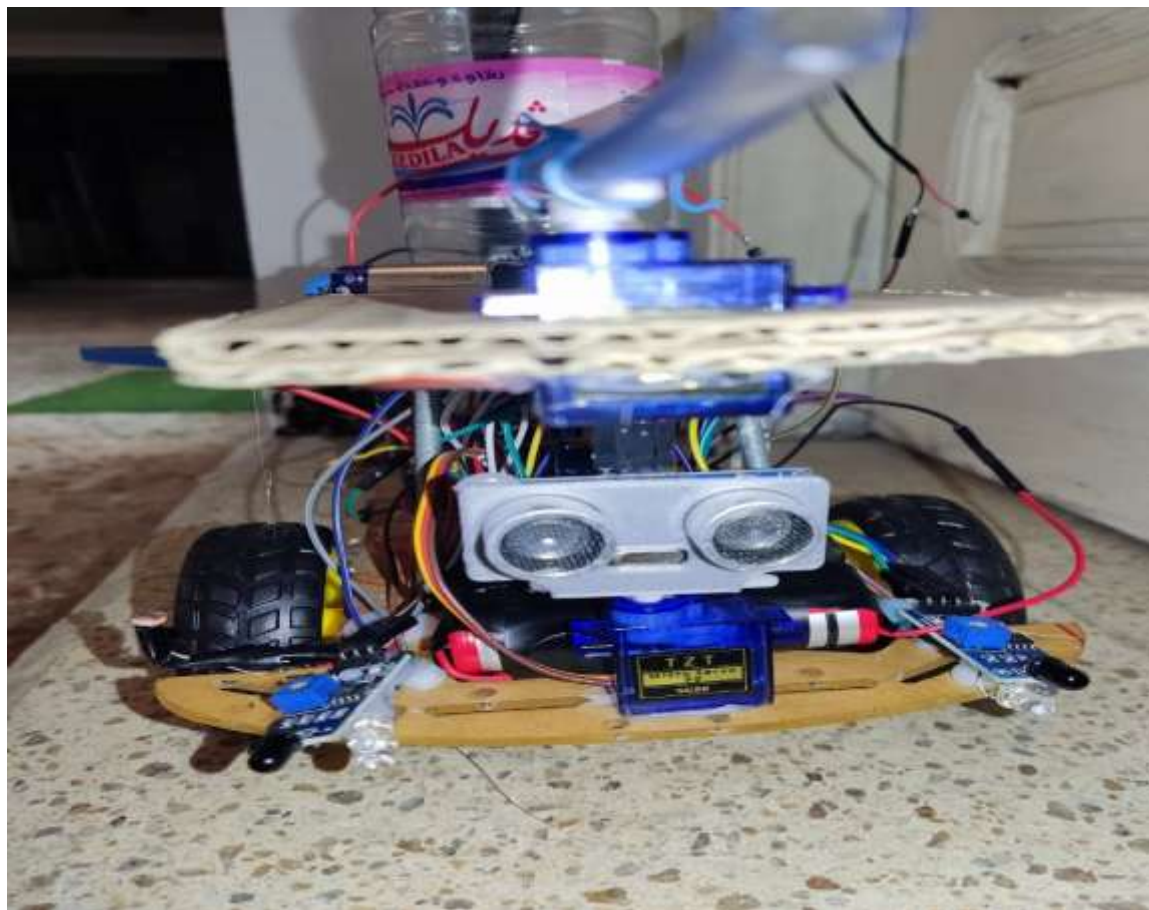




Figure III.76 : Vue globale de notre robot

III.5.1 Fonctionnement du robot

Cette partie est responsable du mouvement du robot

➤ Mode obstacles

Nous avons utilisé un capteur à ultrasons sur le devant du robot, qui, grâce aux rotations du servomoteur sur lequel nous l'avons positionné, permet de capter les obstacles sur les alentours du chemin de navigations du robot, en fonction des angles de rotation du servomoteur. La figure 76 représente le comportement du robot lors de sa navigation autonome.

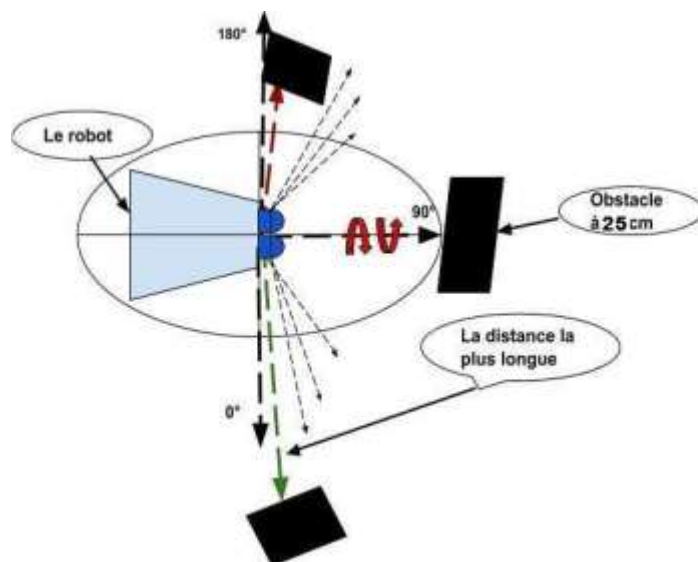


Figure III.77: Le comportement du robot en mode obstacle

Le déplacement du robot est autonome et programmé de telle manière à prendre ses décisions seules, à partir des valeurs émises par le capteur à ultrason lié au servomoteur durant son déplacement, l'Arduino décide suivant la distance détectée par le capteur, dans quel sens le robot doit-il se déplacer (gauche et droite).

Si la distance est inférieure ou égale à 25 cm, le robot s'arrête. La prochaine étape consiste à tourner le servomoteur vers la gauche pour calculer la distance, puis à tourner le servomoteur vers la droite pour calculer la distance. Maintenant, si la distance à gauche est inférieure à la distance à droite, le robot tourne à droite et commence à avancer. Si la distance à gauche est supérieure à la distance à droite, le robot tourne à gauche et commence à avancer.

D'autre part, les moteurs à courant continu (DC) sont contrôlés via le L298N, permettant de faire basculer complètement le mouvement vers la droite ou vers la gauche en mode de commande ON/OFF. L'organigramme du fonctionnement du robot en mode ultra-son est donné comme suit :

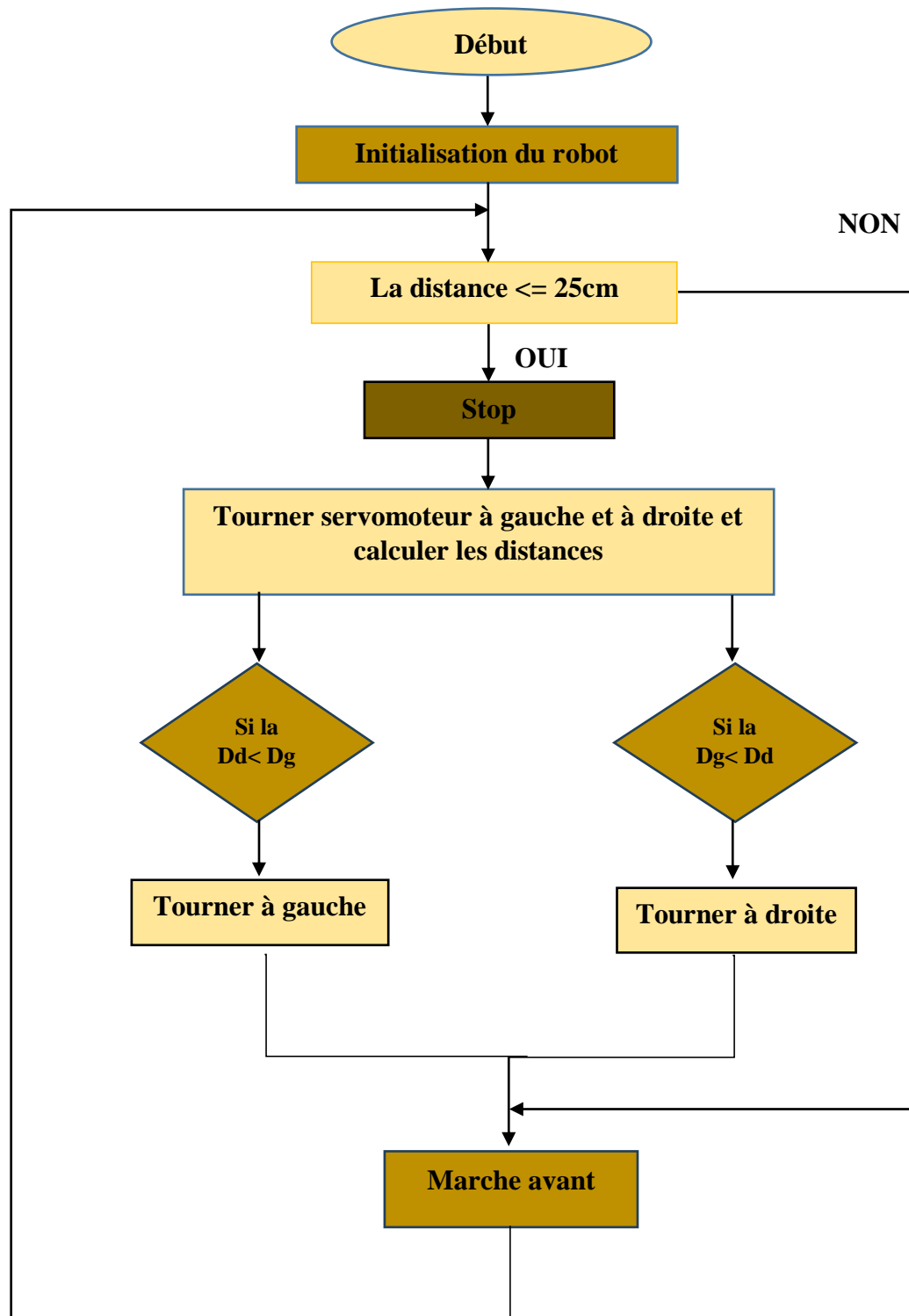


Figure III.78: L'organigramme du fonctionnement du robot en mode obstacles.

➤ Mode flamme

Les deux capteurs de flamme utilisés dans le robot à 3 roues sont conçus pour détecter la présence d'une flamme ou d'une source lumineuse infrarouge. Le premier capteur, basé sur le phototransistor YG1006, est sensible à la lumière infrarouge émise par une flamme et peut être utilisé pour détecter des flammes à des distances différentes. Le second capteur, le module de capteur de détection de flamme KY-026, utilise une photorésistance pour détecter la lumière infrarouge émise par une flamme et génère une tension électrique qui peut être amplifiée pour signaler la présence d'une flamme. Ces capteurs sont placés dans le robot pour jouer un rôle de détection et la localisation des sources de feu, ce qui permet au robot de prendre des mesures pour les éteindre en utilisant la pompe à eau.

L'organigramme du fonctionnement du robot en mode flamme est donné comme suit :

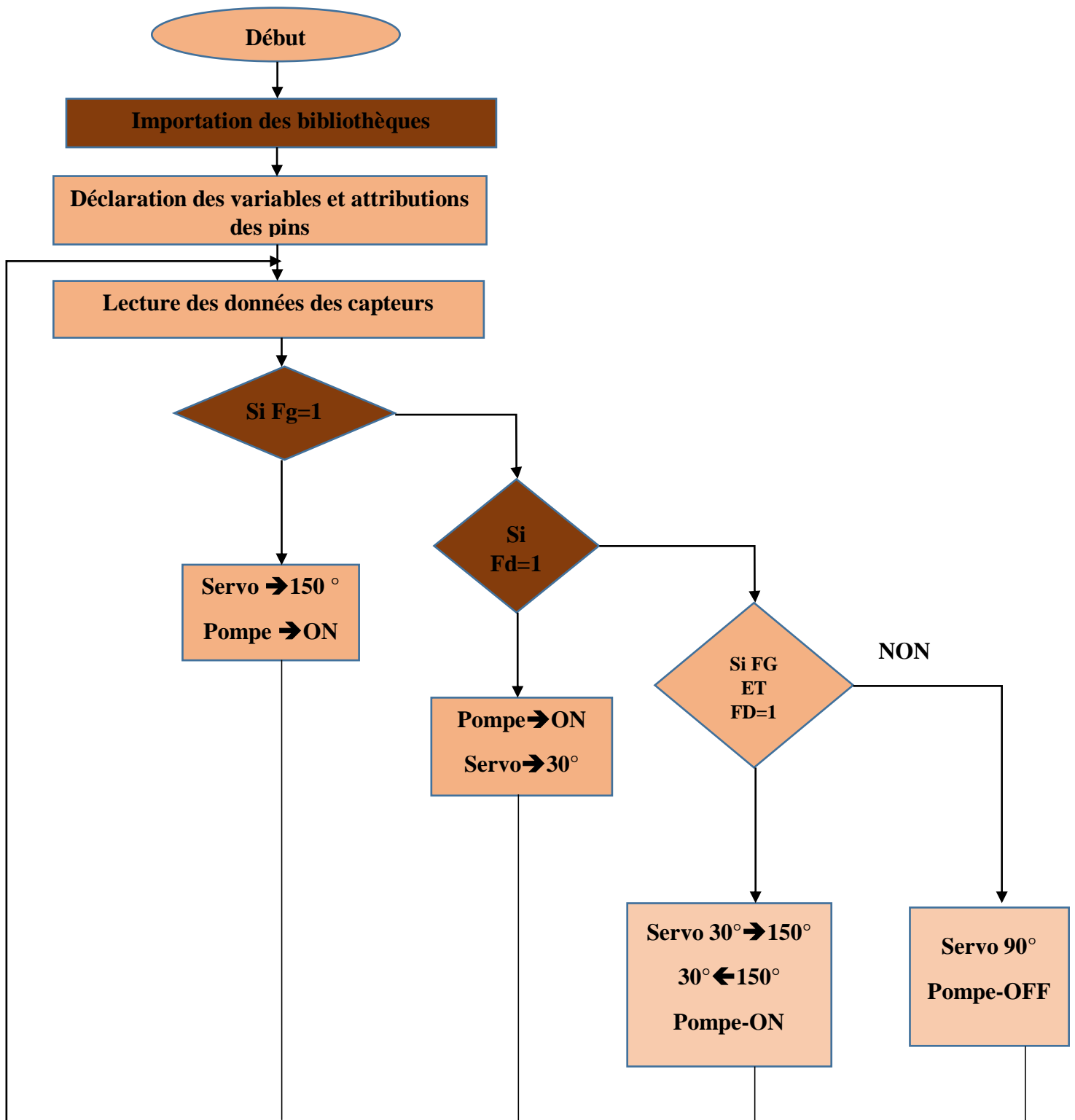


Figure III.79: L’organigramme du fonctionnement du robot en mode flamme

III.5.2 Schéma de Câblage final du robot

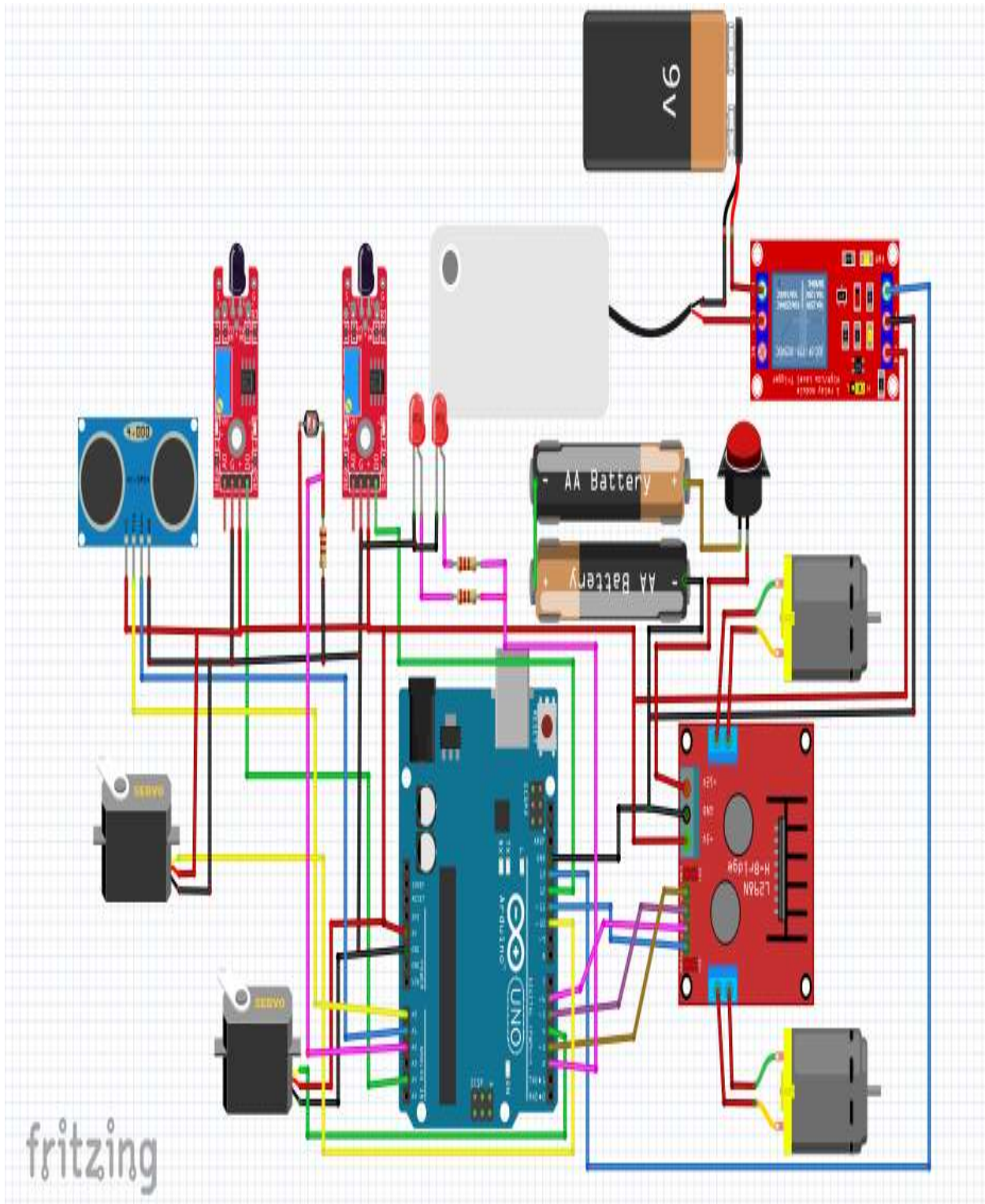


Figure III.80 : Schéma de câblage général de notre robot

III.5.3 Mode de la télécommande du robot

Le robot à l'état initial est au repos, il démarrera lorsque l'opérateur donne l'ordre de démarrage par la commande Bluetooth. Afin de commander le robot, il suffit, dans un premier temps, d'effectuer la liaison Bluetooth entre le téléphone (Androïde) et le module HC05, ensuite, il faut activer la connexion Bluetooth de notre Application (App Inventor) sur la page de commande, et enfin, il suffit de cliquer sur le bouton voulu pour contrôler le robot. Par conséquent, l'application va générer des codes qu'elle va envoyer à la carte Arduino qui, à son tour, va contrôler notre robot via la liaison Bluetooth. Pour télécommander notre robot, le module HC-05 que nous avons branché sur notre carte Arduino, nous permet de faire la liaison entre la carte et notre Smartphone, où nous avons installé une application Androïde « App Inventor » qui sera automatiquement connectée via Bluetooth, afin de télécommander notre robot mobile.

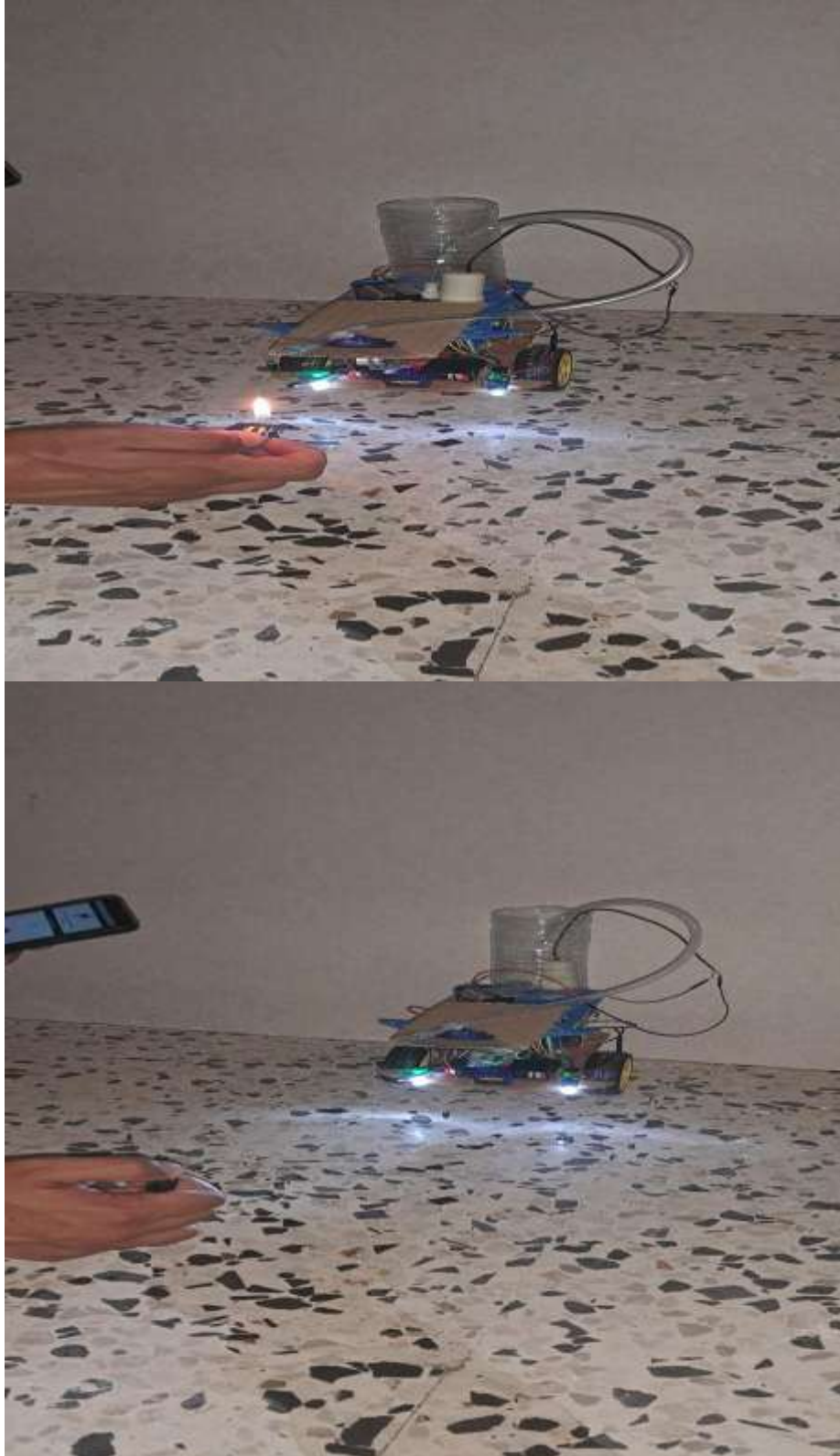
La figure montre l'interface de contrôle que nous avons réalisé avec l'application « App Inventor » afin de contrôler le robot à distance :

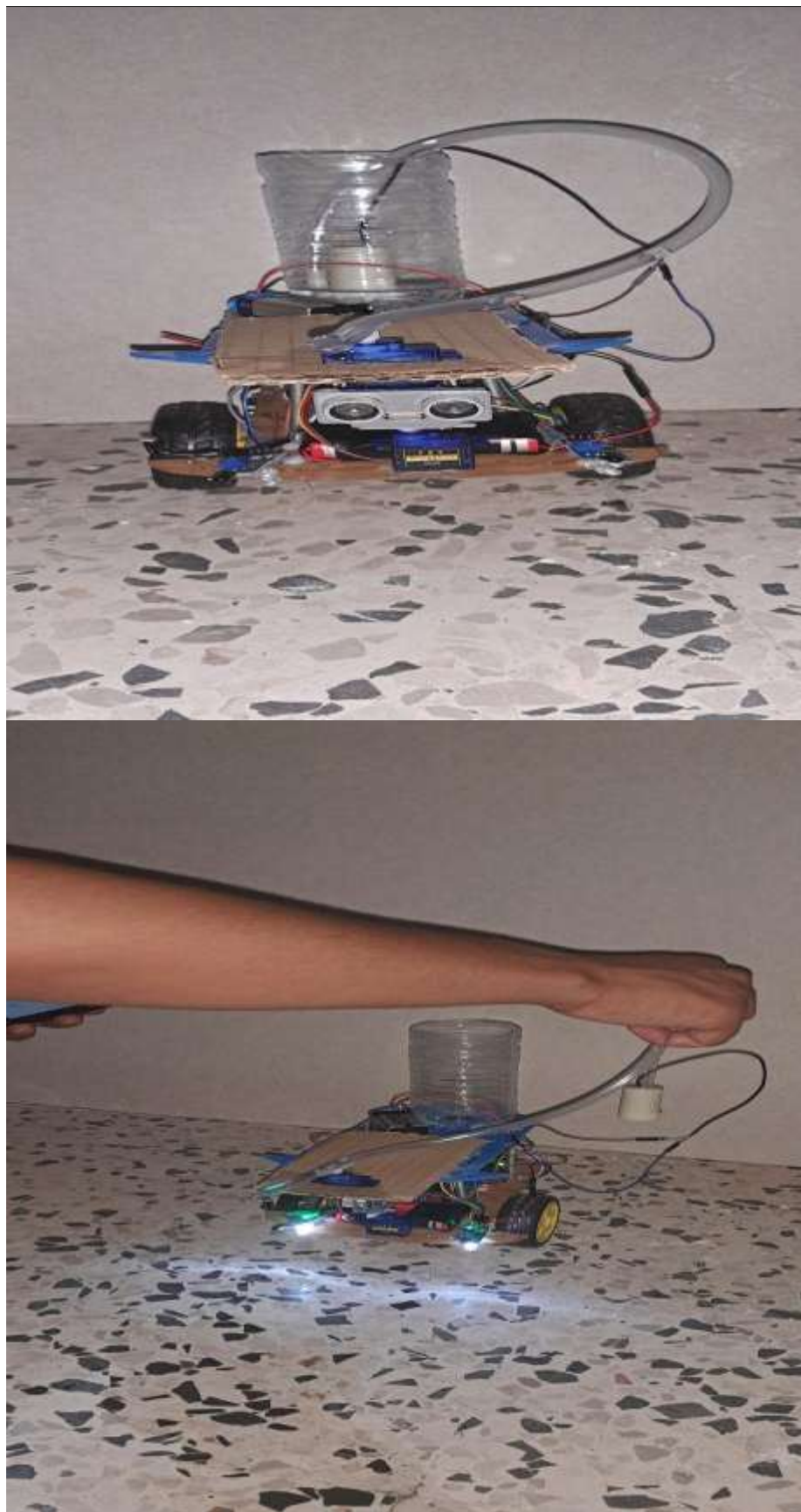


Figure III.81 : Interface de contrôle du robot sur Smartphone

III.6 Test et essais

Nous avons effectué plusieurs tests pour vérifier les capacités de notre robot détecteur d'incendie et obstacles. Voici quelques photos illustrant ces essais :





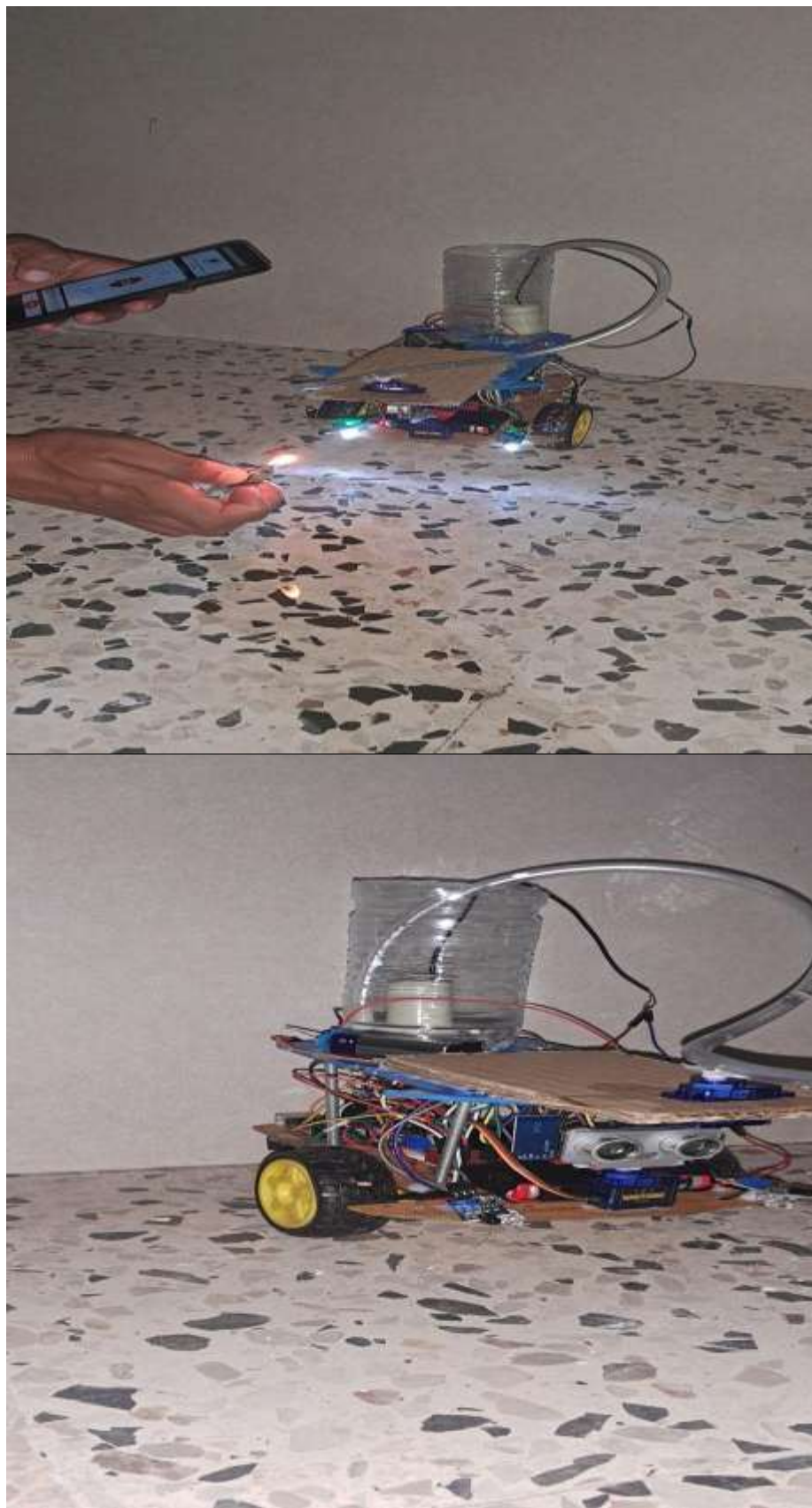


Figure III.82: Photos montrant les essais appliqués sur notre robot

III.7 Discussion

Dans ce chapitre, nous avons décrit la partie pratique de notre projet, qui consiste à développer un robot détecteur d'incendie et d'obstacles. Nous avons mis en œuvre notre système de commande en utilisant une carte Arduino, contrôlée via une application Android par une connexion Bluetooth. Les principaux objectifs de ce projet ont été atteints avec succès.

Conclusion

Conclusion

Ce mémoire nous a permis de réaliser un robot mobile à trois roues à base d'Arduino, contrôlable par tablette, via Bluetooth, en mettant en pratique les connaissances théoriques acquise pendant notre cursus.

Nous avons exposé quelques généralités sur les robots tout en se basant sur les robots Mobiles dans le premier chapitre.

Pour aboutir à cela nous avons partagé le travail en deux étapes. La conception du Robot mobile, ou nous avons spécifié les différents composants utilisés et étudié leurs Caractéristiques et leur fonctionnement. La réalisation, où nous avons donné les étapes à Suivre pour construire le robot qu'on a rédigé dans le deuxième chapitre.

Nous avons pu donc au final mettre en marche ce robot qui fonctionne selon le choix de mode détection d'incendie ou d'obstacles ,commandé à distance via Bluetooth et une tablette grâce au module HC-05 ,doté d'un capteur ultra-son et deux capteur de flamme comme moyen de perception ,deux moteurs à courant continu commandés par un shield basé sur le pont H double L298N comme moyen de locomotion ,tout ça est présenté avec des schéma de câblages et les organigrammes des capteurs ainsi l'organigramme de chaque mode .

En perspective la communication et le contrôle pourraient être optimisés par l'intégration de modules Wi-Fi ou GSM, ajoutant à cela un bras manipulateur avec une pince robuste capables de repérer puis déplacer les obstacles. L'autonomie pourrait être augmentée en intégrant des panneaux solaires pour une recharge continue. Des algorithmes de navigation avancés et l'intelligence artificielle pourraient aussi améliorer la prise de décision et la navigation autonome, une caméra avec vision nocturne, pourraient être intégrées pour accroître les capacités du robot.

Références bibliographiques

- Sites internet

[1] <https://www.gotronic.fr/blog/histoire-de-la-robotique/>

[2] <https://fr.wikipedia.org/wiki/Robot>

[3] <https://letronics.eu/fr/notre-blog/quest-ce-quun-robot-intelligent#:~:text=Ainsi%2C%20un%20robot%20intelligent%20est,comparables%20%C3%A0%20des%20%C3%A9cisions%20humaines.>

[4] <https://24pm.com/117-definITIONS/258-robot-autonome>

[5] <https://theses.hal.science/tel-00134780/>

[7] <https://www.engineersgarage.com/understanding-the-degree-of-freedom-in-robots/>

[8] http://silanus.fr/sin/formation/ISN/Parcours/Robotique/co/module_Robotique_9.html

[9] <https://roboticus.org/articles/30-principe-de-fonctionnement-des-robots>

[10] <https://worldofrobot.fr/les-caracteristiques-des-robots-industriels/>

[11] <https://atelier-canope-95.canoprof.fr/eleve/Automates%20et%20robots/res/robot.dossierHtml/co/loiRobotique.html#:~:text=1942%20Les%20trois%20lois%20de%20la%20robotique&text=%C2%AB%20Premi%C3%A8re%20Loi%20%3A%20un%20robot%20ne,incompatibles%20avec%20la%20Premi%C3%A8re%20Loi.>

[13] <https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fchellynizarblog.wordpress.com%2Fwp-content%2Fuploads%2F2015%2F10%2Fchapitre-1-systeme-robotisc3a9.pdf&psig=AOvVaw13Ct15UJTSQvI67wHsJZ0A&ust=1718401798233000&source=images&cd=vfe&opi=89978449&ved=0CBiQjRxqFwoTCLD3tdrH2YYDFQAAAAAdAAAAABAE>

[15] <https://www.esilv.fr/robots-serie-parallele-un-papier-de-recherche-esilv-presente-a-boston-pour-lasme-idetc-2023/#:~:text=Qu'est%2Dce%20que%20les,ferm%C3%A9e%20entre%20deux%20plates%2Dformes.>

[16] <https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fwww.techniques-ingenieur.fr%2Fglossaire%2Frobots-seriels&psig=AOvVaw16LLfmb5LpUBChdrh0hIIR&ust=1718402195929000&source=images&cd=vfe&opi=89978449&ved=0CBiQjRxqFwoTCMihjFj2YYDFQAAAAAdAAAAABAE>

[17] <https://fr.scribd.com/document/531711321/Chapitre-01>

[18] https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Findustrial.omron.fr%2Ffr%2Fproducts%2Fix3&psig=AOvVaw2NQ-AfSH_EK8CIWmkfN5pZ&ust=1718402615126000&source=images&cd=vfe&opi=89978449&ved=0CBiQjRxqFwoTCOj1vd_K2YYDFQAAAAAdAAAAABAE

[19] <https://harmonicdrive.de/fr/glossaire/la-robotique-mobile>

- [20] <https://www.google.com/url?sa=i&url=http%3A%2F%2Fwww.arobose.com%2Fshop%2Fchassis-robot%2F24-plateforme-robot-mobile-4-roues-motrices.html&psig=AOvVaw1xPrGfnapWx1pNoQatxF-&ust=1718402901465000&source=images&cd=vfe&opi=89978449&ved=0CBiQjRxqFwoTCKjf4ufl2Y YDFQAAAAAdAAAAABAE>
- [22] https://www.memoireonline.com/01/16/9368/m_Conception-et-realisation-d-un-robot-mobile-base-d-arduino4.html
- [23] <https://eu.robotshop.com/fr/collections/tracked-development-platforms>
- [24] <https://trends.directindustry.fr/fuyu-technology/project-197091-1125624.html>
- [25] <https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fwww.linflux.com%2Fbrevue%2Fun-robot-volant-aurait-tue-sans-recevoir-dordre%2F&psig=AOvVaw1gK-BAGG0PQr-wLuNb1IS&ust=1718403355517000&source=images&cd=vfe&opi=89978449&ved=0CBiQjRxqFwoTC MCfscDN2YYDFQAAAAAdAAAAABAE>
- [27] https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Flink.springer.com%2Fcontent%2Fpdf%2F10.1007%2F978-2-287-87716-2_4&psig=AOvVaw0G08uMARUArM0eggXz5NmQ&ust=1718403709537000&source=images&cd=vfe&opi=89978449&ved=0CBiQjRxqFwoTCNiX0IbP2YYDFQAAAAAdAAAAABAE
- [28] https://www.researchgate.net/figure/Schema-general-du-fonctionnement-dun-robot-mobile-represente-sous-forme-dun-cycle_fig1_323334761
- [30] <https://sta-form.com/avantages-inconvenients-de-la-robotisation/>
- [31] <https://robotsmali.org/univers-de-la-robotique-les-domaines-dapplication/>
- [33] ATmega328pdatasheet [sources électroniques] https://www.microchip.com/wwwprod_ucts/en/ATmega328P
- [34] <https://www.chireux.fr/mp/cours/electromecanique/Chap07%20%20Les%20moteurs%20pas%20a%20pas.pdf>
- [35] Moteur électrique à courant continu [sources électroniques] https://www.electronics-tutorials.ws/io/io_7.html
- [36] <https://locoduino.org/spip.php?article47>
- [39] <https://www.cnrtl.fr/definition/ch%C3%A2ssis>
- [40] <http://robert.cireddu.free.fr/SI/PWM-MLI.pdf>
- [41] <http://www.energieplus-lesite.be>
- [42] <https://www.redohm.fr/2015/12/les->
- [43] <https://components101.com>
- [44] www.technologuepro.com/cours-capteurs.../ch12-les-differents-types-de-capteurs.pdf
- [45] Logiciel Arduino 1.8.1, outil capteur. PC, 2017

- [46] <https://marocproduits.com/produit/ldr-photo-resistance-maroc>
- [47] <https://electroexp.com/fr/chto-takoe-fotorezistory.html>
- [48] <https://www.dzduino.com/capteur-%C3%A0-ultrasons-hc-sr04-fr>
- [49] <https://www.gotronic.fr/pj2-hc-sr04-utilisation-avec-picaxe-1343.pdf>
- [50] <https://youpilab.com/components/product/capteur-de-flamme>
- [51] <https://www.aranacorp.com/fr/utilisation-dun-module-l298n-avec-arduino>
- [54] <https://deepbluembedded.com/bluetooth-module-hc05-interfacing-pic-microcontroller-tutorial/>
- [55] <https://fritzing.org/>
- [56] <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00371261/document>
- [57] <https://passionelectronique.fr/tutoriel-l298n/>
- [58] [https://www.ip-systemes.com/details-qu+est+ce+qu+un+servomoteur+et+comment+cela+fonctionne+-869.html#:~:text=Un%20servomoteur%20est%20un%](https://www.ip-systemes.com/details-qu+est+ce+qu+un+servomoteur+et+comment+cela+fonctionne+-869.html#:~:text=Un%20servomoteur%20est%20un%20)

- **Mémoires en PDF**

[6] G. Campion, G. Bastin et B. D'Andréa-Novel. Structural Properties and Classification of Kinematic and Dynamic Models of Wheeled Mobile Robots. IEEE Transactions on Robotics and Automation, vol. 12, no. 1, pages 47–62, 1996.

[12] Direction Régionale de l'industrie, de la recherche et de l'environnement (DRIRE). Jeux et défis de l'industrie de la robotique en Ile-de-France, 2010.

[14] Cours Robotique industrielle 3eme année Maintenance Industrielle.
chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://elearning.univ-eloued.dz/pluginfile.php/40193/mod_resource/content/3/Chapitre-1%20Description-des-robots.pdf

[21] G. Campion, G. Bastin et B. D'Andréa-Novel. Structural Properties and Classification of Kinematic and Dynamic Models of Wheeled Mobile Robots. IEEE Transactions on Robotics and Automation, vol. 12, no. 1, pages 47–62, 1996.

[26] BALI Chaher eddine, ABAIDI Hakim : “ Réalisation d’un robot mobile avec évitement d’obstacle et trajectoire Programmé”, Mémoire Master ,Biskra, juin 2012

[29] J.D.BOISSENNANT, B .FAVERJON, J.P.MERLET“Technique de la robotique”, Hermès,Paris, tome1, 1988.

[32] W .KHALIL, E. DOMBRE „Modélisation et commande des robots“, Hermès, Paris,1988

[37] G. Seguiet, F. Notelet, "Electrotechnique Industrielle", Technique et Documentation, 2ème Edition, 1994.

[38] M. Hadjeras, M. Belbey, "Etude des caractéristiques d'un moteur à c.c à différents types d'excitation",Mémoire de fin d'étude de licence Professionnelle en Electrotechnique Industrielle, Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, 2012.

[52] BELKACEM,A., DIDOUH,M.« Commande à distance d'un robot mobile via un Smartphone Androïde ».Mémoire de Master en Réseaux mobiles et services de télécommunications. Université Aboubaker Belkaïd de Tlemcen. 12/06/2017.

[53] J.P.Haton,J.M. Pierrel, G. Perennou,J.Caelen, et J. L.Gauvain.*Reconnaissance automatique de la Parole*. Dunod. 1991

