

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE  
SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE AKLI MOHAND OULHADJ UNIVERSITY - BOUIRA  
(AMOUB)  
FACULTE DE GENIE ELECTRIQUE ET D'INFORMATIQUE  
DEPARTEMENT D'ELECTRONIQUE



DOMAINE : SCIENCES ET TECHNOLOGIES

FILIERE : ELECTRONIQUE

**PROJET DE FIN D'ETUDES**

EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME DE MASTER  
ACADEMIQUE

SPECIALITE : ELECTRONIQUE DES SYSTEMES  
EMBARQUEES

*THEME :*

**COMMANDE INTELLIGENTE D'UN ROBOT  
MOBILE**

Présenté par : **M. Adila Brahim Elkhalil**

*Soutenu publiquement, le 03/07/2024, devant le Jury composé de :*

Dr. xxxx	xxxxxx	M.C.A	AMOUB	PRESIDENT
XXXXXX	XX	Pr	AMOUB	EXAMINATEUR
Dr. CHEBI	Hocine	M.C.A	AMOUB	ENCADREUR

*Promotion 2023/2024*

## Remerciements

*Je tiens à remercier d'abord Dieu le tout puissant et miséricordieux, de m'avoir donné la force, la patience et le courage nécessaire pendant la période de recherche pour mener ce travail à terme.*

*Je voudrais remercier tout particulièrement **M. CHEBI Hocine**, Maître de conférences « A » au Département de génie éclectique, de m'avoir encadré, et a dirigé ce travail. Il m'a incité à entreprendre ce travail. Il m'a ensuite suivi avec rigueur, apportant son aide, son Soutien, Merci pour votre patience dans la correction de ce mémoire.*

*J'espère avoir été à la hauteur de votre attente.*

*Je lui exprime ma sincère gratitude pour la patience dont il a fait preuve en me guidant pour accomplir ce travail.*

*Je tiens à remercier également mes enseignants qui m'ont donné l'envie d'apprendre de par leurs paroles, leurs écrits, leurs conseils et leurs critiques tout au long de notre travail.*

*J'exprime ma reconnaissance aux membres du jury d'accepté de juger mon travail.*

*Remerciements à tous ceux qui, d'une manière ou d'une autre, m'ont aidé et encouragé à la réalisation de ce modeste travail.*

*Un grand merci à tous.*

*Brahim Elkhailil*

# *Dédicaces*

***A ceux qui m'ont tout donné sans rien en  
retour***

***A mes chers parents, pour leurs amours et  
leurs encouragements ce travail est le fruit de  
vos sacrifices.***

***A mes familles***

***A ceux qui m'ont encouragé et soutenu dans  
mes***

***moments les plus difficiles***

***Que ce travail soit le témoignage sincère et  
affectueux de mes***

***profondes reconnaissances pour tout ce que  
vous avez fait***

***pour moi.***

## **LISTE D'ABREVIATIONS**

<b><i>Terme</i></b>	<b><i>Signification</i></b>
<b><i>RM</i></b>	<i>Robot mobile</i>
<b><i>CPB</i></b>	<i>Commande par backstepping</i>
<b><i>CPMG</i></b>	<i>Commande par modes glissants</i>
<b><i>CPM</i></b>	<i>Commande prédictive de modèle</i>
<b><i>CPMNL</i></b>	<i>Commande prédictive de modèle non linéaire</i>
<b><i>MC</i></b>	<i>Modèle cinématique</i>
<b><i>MD</i></b>	<i>Modèle dynamique</i>
<b><i>CAM</i></b>	<i>Commande adaptative</i>
<b><i>PID</i></b>	<i>Régulateur Proportionnel, Intégral et Dérivé</i>
<b><i>CNE</i></b>	<i>Capteur de niveau d'eau</i>
<b><i>CDE</i></b>	<i>Capteur de débit d'eau</i>
<b><i>CHS</i></b>	<i>Capteur d'humidité du sol</i>

## LISTE DES FIGURES

<i>Figure I.1: Images illustratives qui montrent le premier robot à mécanismes .....</i>	<i>4</i>
<i>Figure I.2 : Images illustratives montre la structure mécanique d'un robot mobile ..</i>	<i>5</i>
<i>Figure I.3 : Images illustratives montre les capteurs d'un robot mobile .....</i>	<i>5</i>
<i>Figure I.4 : Image illustrative montre un robot commandé par un smartphone et un microcontrôleur ESP8266 .....</i>	<i>6</i>
<i>Figure I.5 : Images illustratives montrent un robot de type unicycle .....</i>	<i>6</i>
<i>Figure I.6 : Images illustratives montrent un robot de type tricycle .....</i>	<i>7</i>
<i>Figure I.7 : Images illustratives qui montrent un robot de type voiture.....</i>	<i>7</i>
<i>Figure I.8 : : Images illustratives qui montrent un robot de type omnidirectionnel ..</i>	<i>8</i>
<i>Figure I.9 : Paramétrage du problème de suivi de chemin .....</i>	<i>9</i>
<i>Figure I.10 : Paramétrage du problème de stabilisation de mouvement .....</i>	<i>9</i>
<i>Figure I.11 : Schéma global de la CPB d'un robot mobile .....</i>	<i>10</i>
<i>Figure I.12 : Schéma global de la CPMG d'un robot mobile .....</i>	<i>11</i>
<i>Figure I.13 : Schéma global d'un régulateur PID .....</i>	<i>12</i>
<i>Figure II.1 : Servomoteur « FS90R » .....</i>	<i>16</i>
<i>Figure II.2 : image montre un servomoteur « MG996R » .....</i>	<i>17</i>
<i>Figure II.3 : image montre un microcontrôleur « ESP32 » .....</i>	<i>17</i>
<i>Figure II.4 : image montre un CHS « YL-69 » .....</i>	<i>18</i>
<i>Figure II.5 : image montre un Module L293D .....</i>	<i>18</i>
<i>Figure II.6 : image montre un Module Relais 5V, 2 Canaux .....</i>	<i>19</i>
<i>Figure II.7 : image illustre une pompe d'eau .....</i>	<i>19</i>
<i>Figure II.8 : image illustre un capteur lidar « LIDAR Lite v3 » .....</i>	<i>20</i>
<i>Figure II.9 : image illustre un CDE « YF-S401 » .....</i>	<i>20</i>
<i>Figure II.10 : image montre Le module abaisseur LM2596 .....</i>	<i>21</i>
<i>Figure II.11: image montre un CNE .....</i>	<i>21</i>
<i>Figure II.12 : image montre quatre résistances de 10 kOhms .....</i>	<i>22</i>
<i>Figure II.13 : image montre une planche à pain colorée « MB102 » .....</i>	<i>22</i>
<i>Figure II.14 : : images montrent la structure mécanique du robot .....</i>	<i>24</i>
<i>Figure II.15 : schéma électronique globale du système sous logiciel Proteus .....</i>	<i>25</i>
<i>Figure II.16: schéma électronique globale du système sous logiciel Fritzing .....</i>	<i>25</i>
<i>Figure III.17: Schéma synoptique général .....</i>	<i>32</i>
<i>Figure III.18: algorithme principale du fonctionnement.....</i>	<i>33</i>
<i>Figure III.19: images réelles du robot .....</i>	<i>34</i>

**LISTE DES TABLEAUX**

**TABLEAU I.1 : la synthèse entre les quatre types de robots ..... 8**  
**TABLEAU III.1: Les avantages et les inconvénients du système ..... 35**  
**TABLEAU III.2 Etude technique économique ..... 35**

## SOMMAIRE

<b>Introduction générale</b> .....	1
------------------------------------	---

### **CHAPITRE 1 : Etat de l'art sur la commande utilisée en robotique mobile.**

I.1 Introduction .....	2
I.2 Définitions .....	2
I.3 Historique .....	3
I.4 architecture d'un robot mobile .....	4
I.4.1 Structure mécanique .....	4
I.4.2 Structure instrumentale .....	5
I.4.3 structure informatique .....	6
I.5 Types des robots mobiles .....	6
I.5.1 Robot unicycle .....	6
I.5.2 Robot tricycle .....	7
I.5.3 Robot voiture .....	7
I.5.4 Robot omnidirectionnel .....	8
I.5.5 Comparaison des différents types .....	8
I.6 Etat de l'art sur les commandes utilisés en robotique .....	9
I.6.1 Problèmes de commande .....	9
a) Suivi de chemin .....	9
b) Stabilisation de mouvement .....	9
I.6.2 Commandes en robotique mobile .....	10
a) Commande par backstepping (CPB) .....	10
b) Commande par modes glissants (CPMG) .....	11
c) Commande prédictive (CPM) .....	12
d) Commande adaptative (CAM) .....	12
e) Commande basée sur un régulateur PID .....	12
f) Commande basée sur la linéarisation exacte .....	13
g) Commande basée sur les réseaux de neurones .....	13
h) Commande basée sur la logique floue .....	14
I.7 conclusion .....	14

### **CHAPITRE II : Instrumentation utilisé et conception d'un robot mobile**

II.1 Introduction .....	15
II.2 Objectifs du travail .....	15
II.3 instrumentations utilisées .....	16
II.3.1 Le servomoteur FS90R .....	16
II.3.2 Le servomoteur MG996R .....	16
II.3.3 Le microcontrôleur ESP32 .....	17
II.3.4 Capteur d'humidité du sol (CHS) .....	18
II.3.5 Module L293D .....	18

---

<i>II.3.6 Module Relais 5V, 2 Canaux</i> .....	19
<i>II.3.7 Pompe à eau 5V</i> .....	19
<i>II.3.8 Capteur LIDAR</i> .....	20
<i>II.3.9 Capteur de débit d'eau (CDE)</i> .....	20
<i>II.3.10 Module LM2596</i> .....	21
<i>II.3.11 Capteur de niveau d'eau (CNE)</i> .....	21
<i>II.3.12 Résistances 10 kOhm</i> .....	22
<i>II.3.13 Plaque à pain colorée MB102</i> .....	23
<i>II.4 Structure mécanique</i> .....	24
<i>II.5 5 Structure électronique et instrumentation</i> .....	26
<i>II.6 Conclusion</i> .....	27

### **CHAPITRE 3 : Réalisation du système d'arrosage automatique**

<i>III.1 Introduction</i> .....	28
<i>III.2 Problématique</i> .....	28
<i>III.3 Solutions proposées</i> .....	29
<i>III.4 Objectifs à atteindre</i> .....	29
<i>III.5 Contribution</i> .....	30
<i>III.6 Schéma générale du programme réalisé</i> .....	31
<i>III.7 Algorithme principale du fonctionnement du système</i> .....	33
<i>III.8. Images réelles du système d'arrosage</i> .....	34
<i>III.9 Avantages et les inconvénients du système</i> .....	35
<i>III.10 Etude technique économique</i> .....	35
<i>III.11 Conclusion</i> .....	36
<b>Conclusion générale</b> .....	37

# **Introduction générale**

## **INTRODUCTION GÉNÉRALE**

Une augmentation sensible de l'intérêt porté à la robotique mobile est constatée depuis quelques années. Plus précisément, plusieurs groupes de laboratoires et d'industriels se sont associés en vue de démontrer qu'il est possible de mettre au point des moyens de transport automatisés. La robotique mobile autonome est un axe de recherche qui vise à donner à une machine la capacité de se mouvoir dans un environnement sans assistance ni intervention humaine.

Parmi les capacités décisionnelles, on peut citer la capacité de détecter et d'éviter les obstacles dans un environnement inconnu. Cependant, ces applications ne pouvaient être mises en pratique sans en avoir associé aux robots mobiles le concept de l'autonomie. Le développement des moyens informatiques dont disposent les chercheurs en robotique rend de plus en plus facile l'utilisation d'algorithmes puissants pour donner aux robots une capacité d'autonomie [1].

Dans ce projet, on s'est intéressé à l'étude de la commande et à la réalisation d'un robot mobile type voiture. L'idée est d'élaborer un robot intelligent programmée qui peut circuler dans un milieu inconnu tout en détectant et évitant les obstacles, le programme de ce robot est effectué à base de langage de programmation orienté objet C#.

Notre mémoire est organisé en trois chapitres comme suit :

- Le premier chapitre, est consacré à l'état de l'art sur les commandes des robots mobiles, ainsi que les robots mobiles à roue.
- Le second chapitre est consacré à la description matériels et logiciels des composants utilisés dans le système embarqué.
- Le troisième chapitre est consacré à la réalisation et conception pratique du système embarqué. Et en termine par une conclusion générale et quelques perspectives.

# **CHAPITRE I :**

## Etat de l'art sur la commande utilisée en robotique mobile

# CHAPITRE I : Etat de l'art sur la commande utilisée en robotique mobile (RM)

## I.1 Introduction :

La robotique mobile est tous les moyens informatiques et matériels qui rendent l'équipement autonome et intelligent, avec l'utilisation d'algorithmes de commande puissants pour donner aux robots une capacité d'autonomie.

Ce chapitre a pour but d'introduire brièvement état de l'art concernant la commande intelligente des robots mobiles (RM) spécialement les robots mobiles à roue, ce qui sera détaillé comme suite :

## I.2 Définitions :

Avant de commencer notre projet il nécessaire de définir certains termes :

**La robotique :** est une activité multidisciplinaire visant l'étude, la conception et la construction de robots ou plus simplement de machines automatiques. Sa pratique réunie des savoir-faire techniques et des connaissances scientifiques des domaines d'électronique, d'informatique, et de la mécanique [2].

**Un robot :** est un automate doté de capteurs et d'effecteurs lui donnant une capacité d'adaptation et de déplacement proche de l'autonomie [3].

**Un automate :** est une machine programmée pour effectuer une tâche précise dans un environnement donné [3].

**Un robot mobile :** est un véhicule doté de moyens de locomotion qui lui permettent de se déplacer. Suivant son degré d'autonomie il peut être doté de moyens de perception et de raisonnement [4].

### **I.3 Historique :**

Avant de commencer notre projet il est nécessaire de donner un bref historique sur la robotique mobile.

- La robotique a commencé dans l'antiquité. Les premiers mécanismes étaient la roue, créée vers 3500 Avant Jésus-Christ et les horloges, inventées vers 1600 av. J.-C en Égypte [5].
- En 1725, Basile Bouchon « tisserand lyonnais » invente une machine programmable, son mécanisme utilise un ruban de papier perforé qui contrôle le passage des aiguilles dans le tissu [6].
- En 1734 Le Canard de Vaucanson, également appelé le Canard digérant, digérateur ou défécateur, est un canard automate, créé par Jacques de Vaucanson et présenté au public en 1739 [7].
- En 1800, Henri Maillardet « mécanicien-horloger suisse » conçoit un automate androïde capable de dessiner et d'écrire des textes en anglais ou français [8].
- En 1898, Nikola Tesla « ingénieur mécanique et physicien » crée le premier « robot » télécommandé, qu'il présente au Madison Square Garden à New-York. C'est un petit bateau télécommandé sans fil, qu'il nomme « teleautomaton » [9].
- En 1915, les ingénieurs Hammond et Miessner conçoivent un chien électrique équipé d'un capteur qui le fait se diriger vers les sources lumineuses [7].
- En 1947, la création de " tortue " de Bristol a été inventé par William Grey Walter à l'Institut de neurologie Burden situé à Bristol [7].
- En 1970, Des robots, appelés rovers, vont être développés pour la conquête de l'espace dès les années 60. Lunokhod 1 est le premier rover envoyé sur la Lune par l'Union soviétique. Il intègre des caméras et appareils de mesure, prélève des échantillons et communique avec les scientifiques sur Terre [10].
- En 1973, Une version plus perfectionnée, Lunokhod 2, sera envoyée sur la Lune [10].

- En 2000, Asimodéveloppé par Honda, est un robot humanoïde bipède de 130 cm pour 50 kg. Il se déplace en marchant ou courant, manipule des objets et reconnaît visages et mouvements. Il communique en langue des signes, en japonais, en chinois ou en anglais. Il identifie la langue de son interlocuteur et répond dans cette même langue. Il peut aussi servir d'interprète [11].



(a) (b)

**Figure I.1 :** Images illustratives qui montrent le premier robot à mécanismes, (a) : Horloge égyptienne « La clepsydre de Karnak » [12], (b) : Deux roues en pierre [13].

#### **I.4 Architecture d'un robot mobile :**

Avant de commencer la commande des robots mobile (RM), il est nécessaire de savoir l'architecteur interne et externe pour pouvoir commander et contrôler dans son environnement de travail. Les différentes structures des robots mobiles sont données comme suite :

- Structure mécanique ;
- Structure instrumentale ;
- Structure informatique.

##### **I.4.1 Structure mécanique :**

Elle assure le mouvement du robot par des roues motrices placées selon le type de mouvement et la précision de la tâche voulue[14]. Voir l'exemple de l'image de la figure I.2.

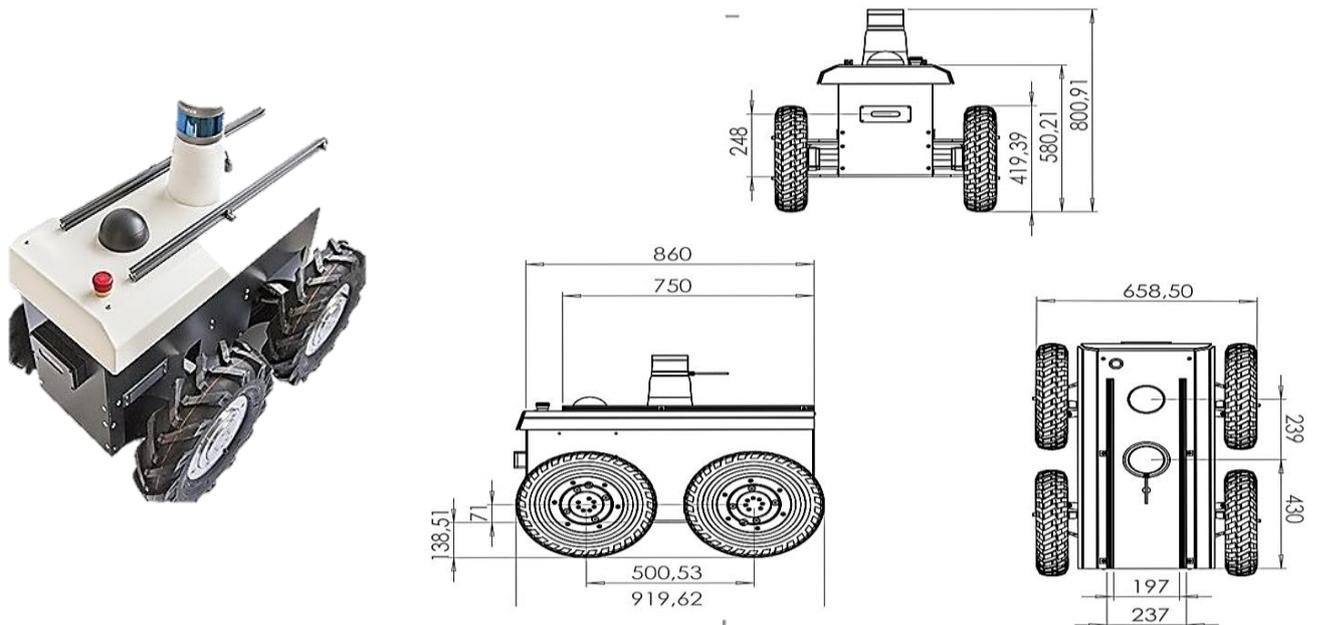


Figure I.2 : Images illustratives montre la structure mécanique d'un robot mobile « Le Shadow Runner RR100 » [15].

#### I.4.2 Structure instrumentale :

Instrumentation dans un robot regroupe tous les dispositifs capteurs de sécurité et de détection afin de leurs donner une certaine connaissance de l'environnement[14]. Voir figure I.3 ci-dessous.

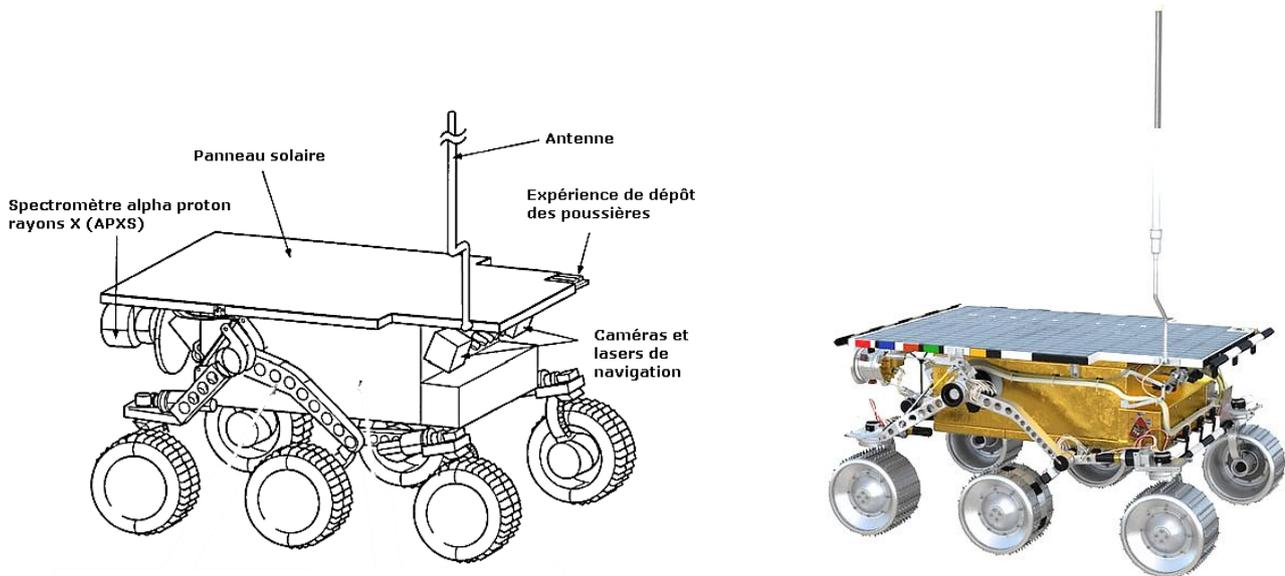


Figure I.3 : Images illustratives montre les capteurs d'un robot mobile « ROVER SOJOURNER » [16, 17].

### I.4.3 Structure informatique :

Comme c'est déjà mentionné dans la définition précédente, pour commander le robot il est obligatoire de lui associer une commande numérique impérative, afin de bien analyser les différentes informations, soit du système de perception ou de localisation. Cette commande peut être à base d'un microprocesseur ou microcontrôleur [14].



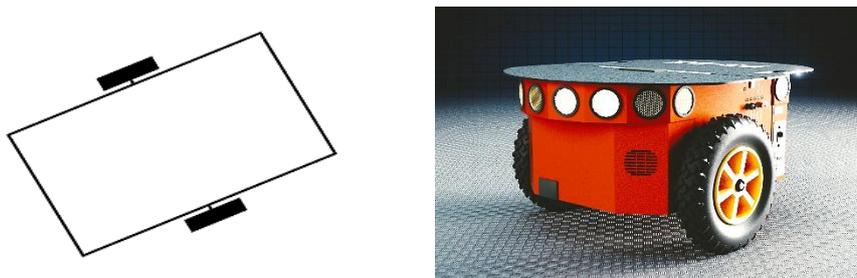
*Figure I.4 : Image illustrative montre un robot commandé par un smartphone et un microcontrôleur ESP8266 [18].*

### I.5 Types des robots mobile (RM) :

Il existe plusieurs classes de robots à roues déterminées, principalement, par la position et le nombre de roues utilisées. Nous citerons ici les quatre classes principales de robots à roues [19].

#### I.5.1 Robot unicycle :

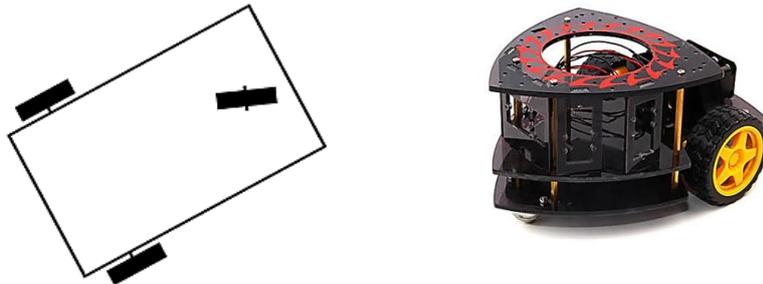
Un robot de type unicycle est actionné par deux roues indépendantes, il possède éventuellement des roues folles pour assurer sa stabilité. Son centre de rotation est situé sur l'axe reliant les deux roues motrices [19]. (Voir la figure I.5.1).



*Figure I.5 : Images illustratives montrent un robot de type unicycle « Pioneer P3-DX » [19, 20].*

### I.5.2 Robot tricycle :

Un robot de type tricycle est constitué de deux roues fixes placées sur un même axe et d'une roue centrée orientable placée sur l'axe longitudinal. Le mouvement du robot est donné par la vitesse des deux roues fixes et par l'orientation de la roue orientable[19]. (Voir la figure I.6).



*Figure I.6 : Images illustratives montrent un robot de type tricycle « Tricycle Bot » [19, 21].*

### I.5.3 Robot voiture :

Un robot de type voiture est semblable au tricycle, il est constitué de deux roues fixes placées sur un même axe et de deux roues centrées orientables placées elles aussi sur un même axe [19]. (Voir FigureI.7).



*Figure I.7 : Images illustratives qui montrent un robot de type voiture [19, 22].*

### I.5.4 Robot omnidirectionnel :

Un robot omnidirectionnel est un robot qui peut se déplacer librement dans toutes les directions. Il est en général constitué de trois roues décentrées orientables placées en triangle équilatéral [19].(Voir figure I.8).



**Figure I.8 :** Images illustratives qui montrent un robot de type omnidirectionnel « 3WD Triangular 100mm omni wheel mobile » [19, 23].

### I.5.5 Comparaison des différents types :

Nous pouvons observer dans le tableau ci-dessous un récapitulatif des avantages et des inconvénients des différents types de robots à roues [19].

#### Remarque :

Le robot holonome capable de se déplacer dans n'importe quelle direction quel que soit son orientation [24].

Type du robot	Avantages	Inconvénients
Unicycle	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Stable</li> <li>• Rotation sur soi-même</li> <li>• Complexité mécanique faible</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Non-holonome</li> </ul>
Tricycle	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Complexité mécanique</li> <li>• Modérée</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Non-holonome</li> <li>• Peu stable</li> <li>• Pas de rotation sur soi-même</li> </ul>
Voiture	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Stable</li> <li>• Complexité mécanique modérée</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Non-holonome</li> <li>• Pas de rotation sur soi-même</li> </ul>
Omnidirectionnel	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Holonome</li> <li>• Stable</li> <li>• Rotation sur soi-même</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Complexité mécanique</li> <li>• Importante</li> </ul>

**Tableau I.1 :** Tableau montre la synthèse entre les quatre types de robots [19].

### I.6 Etat de l'art sur les commandes utilisés en robotique :

La commande des robots est un système qui contribue au mouvement des robots. Elle implique les aspects mécaniques et les systèmes programmables. En se basant sur le modèle du robot élaboré avec la modélisation des robots, il s'agit de commander électriquement les actionneurs du robot afin d'obtenir le mouvement requis : lui faire rejoindre une position ou lui faire suivre une trajectoire [25].

### I.6.1 Problèmes de commande :

Les obstacles majeurs concernant la commande des robots mobiles sont donnés si dessous.

#### A) Suivi de chemin :

Problème qui consiste à trouver la commande pour asservir la distance d'un point P du robot à un chemin (trajectoire) de référence C que l'on souhaite suivre figure I.9. La vitesse longitudinale de déplacement du robot étant donné [26].

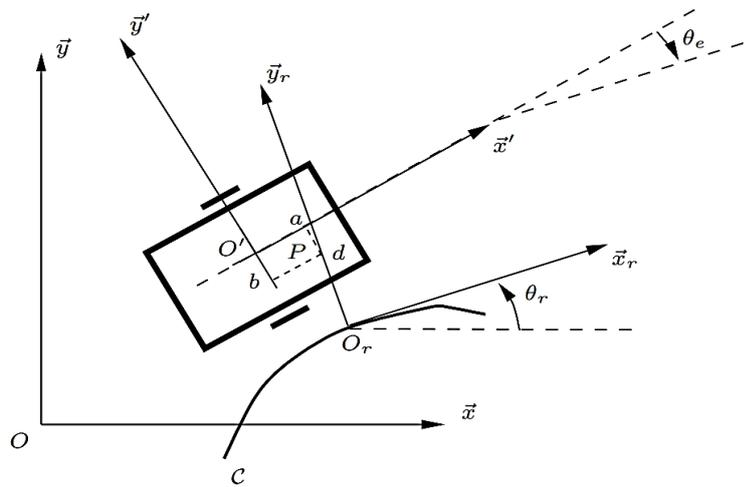


Figure I.9 : Paramétrage du problème de suivi de chemin [26].

#### B) Stabilisation de mouvement :

Problème qui consiste à déterminer la commande du système permettant de stabiliser asymptotiquement à zéro l'erreur de suivi du robot par rapport à un robot fictif de référence figure I.10. Autrement dit ce problème consiste à asservir la posture d'un robot mobile par rapport à un robot virtuel de référence [26].

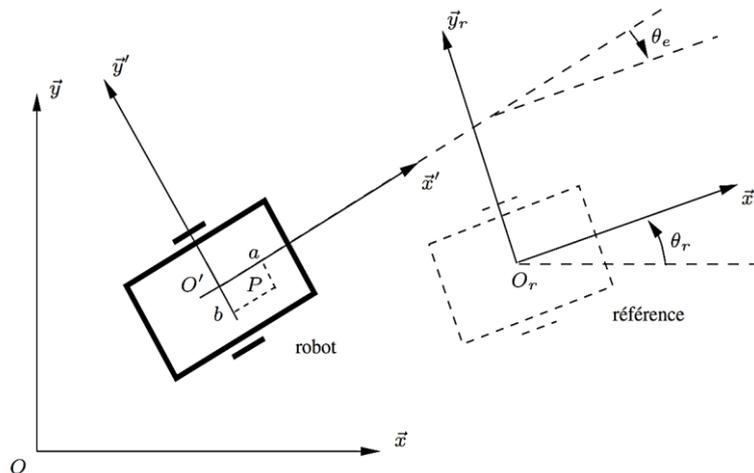


Figure I.10 : Paramétrage du problème de stabilisation de mouvement [26].

## I.6.2 Commandes en robotique mobile :

L'un des aspects importants des systèmes de robots mobiles est lié à son mouvement ou le contrôle de la navigation. La question du problème de contrôle ne dépend pas seulement de la cinématique et la dynamique du système de robot mobile, mais aussi les réels éléments individuels du contrôle lui-même. Sans un bon système de contrôle, un robot mobile est pratiquement inutile et inefficace. Par conséquent, le développement d'un robot mobile est significativement influencé par la conception appropriée du système de commande. On trouve dans la littérature plusieurs outils de commande des systèmes qui peuvent être appliquées aux problèmes de contrôle des robots mobiles, un résumé sur ses outils est présenté ci-dessous [27].

### A) Commande par backstepping (CPB) :

La CPB présente un grand intérêt pour la commande des systèmes non linéaires. L'idée de base de cette commande est de rendre les systèmes bouclés équivalents à des sous-systèmes d'ordre un en cascade stable au sens de Lyapunov, ce qui leur confère des qualités de robustesse et une stabilité globale asymptotique.

L'objectif de cette commande est la minimisation de l'erreur de suivi de trajectoire dans le but de renforcer davantage la stabilité du robot tout en se basant sur la théorie de Lyapunov[28].

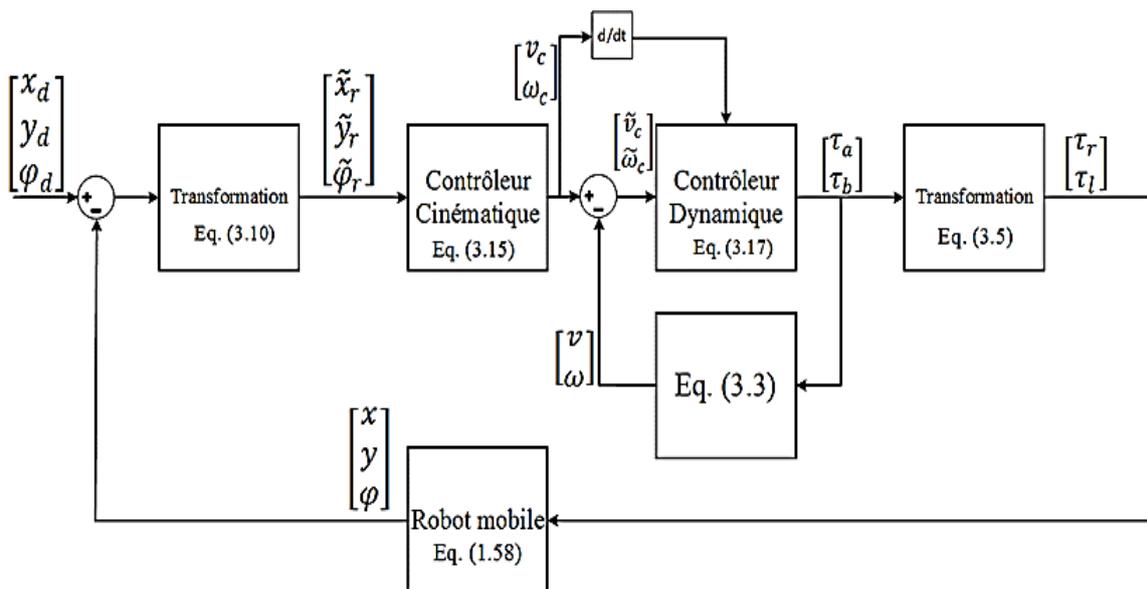


Figure I.11 : Schéma global de la CPB d'un robot mobile [29].

### B) Commande par modes glissants (CPMG) :

La CPMG des systèmes non linéaires a été largement étudiée et développée depuis son introduction. Celle-ci appartient à une classe plus large appelée commande à structure variable.

La technique des modes glissants consiste à ramener la trajectoire d'état d'un système vers la surface de glissement et de la faire commuter à l'aide d'une commutation appropriée autour de celle-ci jusqu'au point d'équilibre, d'où le phénomène de glissement [28].

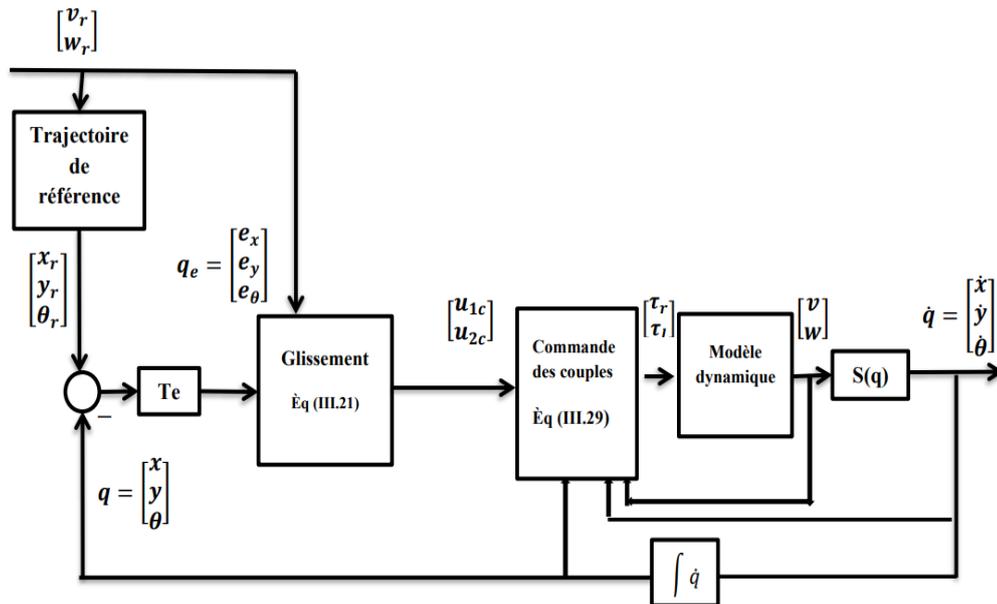


Figure I.12 : Schéma global de la CPMG d'un robot mobile [28].

### C) Commande prédictive (CPM) :

La commande prédictive ou commande prédictive de modèle (CPM) peut être mise en place sur des systèmes à une seule ou plusieurs variables, et peut être de type linéaire (CPM) ou non linéaire (commande prédictive de modèle non linéaire (CPMNL)). En général, ces commandes sont destinées à réaliser une tâche de suivi de chemin et sont basées soit sur un modèle cinématique (MC) soit un modèle dynamique (MD) [30].

Le principe de CPM consiste donc à utiliser un modèle du système à commander pour prédire l'évolution du système sur un horizon temporel futur et ainsi choisir la meilleure commande à appliquer pour un objectif donné en prenant en considération des contraintes [31].

### D) Commande adaptative (CAM) :

La CAM est une commande dans laquelle le contrôleur est automatiquement ajusté afin de compenser des changements dans le procédé et/ou son environnement. Ce genre de problème peut être traité dans le cadre de la commande robuste, mais en présence de fortes perturbations, d'incertitudes du modèle ou de paramètres qui varient fortement dans le temps, la CAM constitue ainsi un meilleur choix [32].

### Commande basée sur un régulateur PID :

Plusieurs travaux se sont basés sur le régulateur PID (Proportionnel, Intégral, Dérivé) pour concevoir un contrôleur. Le régulateur PID calcule l'erreur du Système, qui est la différence entre son état actuel et la consigne désirée, et calcule une commande qui minimise cette erreur. Le calcul de la commande se fait en ajustant les trois paramètres du régulateur.

- **P** : Relatif à l'erreur courante,
- **I** : Relatif à l'accumulation des erreurs passées, et
- **D** : Relatif à la prédiction des futures erreurs.

Ces trois paramètres doivent être choisis de façon à réduire l'erreur statique De la réponse par rapport à la consigne, les oscillations et le dépassement de la Réponse [33].

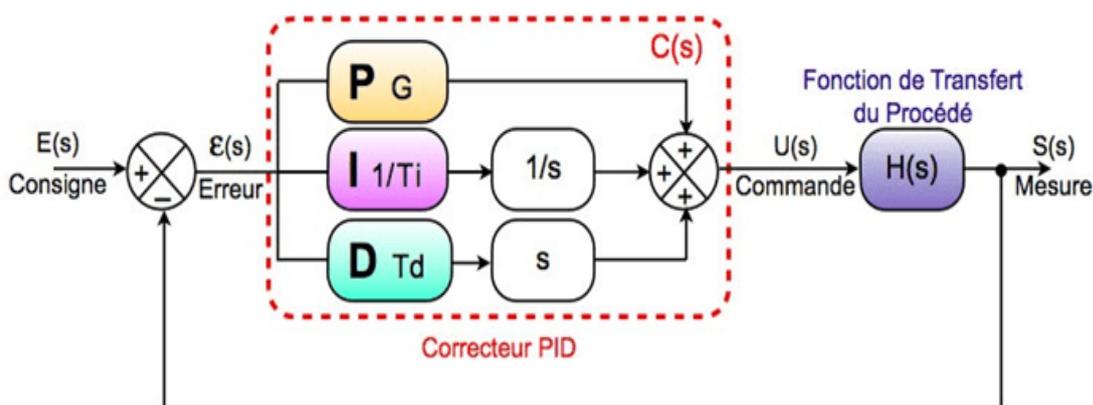


Figure I.13 : Schéma global d'un régulateur PID [34].

**E) Commande basée sur la linéarisation exacte :**

La technique de linéarisation exacte utilise une transformation exacte dans le but d'écrire un système non linéaire sous forme d'un système linéaire, de façon à pouvoir concevoir des lois de commande en exploitant les méthodes de l'automatique linéaire. Cette approche consiste à linéariser le système en boucle fermée, par une série de transformations, sans faire d'approximations. La commande choisie est composée de deux parties. La première a pour rôle d'annuler les différents termes non linéaires du procédé, alors que la deuxième est choisie pour satisfaire les exigences en boucle fermée du système linéarisé [33].

**F) Commande basée sur les réseaux de neurones :**

D'après la littérature, les réseaux de neurones ont été utilisés dans de nombreuses applications telles que l'identification, la planification et la commande des robots. Les réseaux de neurones sont capables d'approximer les fonctions non linéaires avec une grande précision. Pour cela l'introduction d'un réseau de neurones dans la partie dynamique de la commande non linéaire peut résoudre les inconvénients concernant les perturbations et les dynamiques inconnues. Le but recherché dans ces travaux est de réduire la distance entre la configuration courante et la configuration de référence par apprentissage de la commande [33].

**G) Commande basée sur la logique floue :**

La logique floue est déterminée comme un ensemble de principes mathématiques pour la représentation de connaissances basées sur les degrés d'appartenance plutôt que sur l'appartenance nette à la logique binaire classique. La logique booléenne classique ne permet que deux états : vrai ou faux, la logique floue permet d'exprimer différents niveaux, plutôt que seulement 1 ou 0 [27].

**I.7 Conclusion :**

Le chapitre introductif propose un aperçu non exhaustif de la robotique mobile, en mettant particulièrement l'accent sur les robots de type voiture. Les différents modèles et techniques de commande explorés incluent le backstepping, le mode glissant et l'intelligence artificielle, qui seront abordés dans la suite de ce travail.

**CHAPITRE II :**  
Instrumentation  
utilisé et conception  
d'un robotmobile

# CHAPITRE II :

## Instrumentation utilisé et conception d'un robot mobile

### II.1 Introduction :

L'arrosage des plantes est vital pour leur bien-être et leur développement. Toutefois, maintenir une irrigation régulière peut s'avérer complexe, surtout en cas d'emploi du temps chargé ou de conditions de sécheresse. C'est là qu'un système d'arrosage automatique entre en jeu.

Un système d'arrosage automatique est un équipement conçu pour automatiser l'irrigation des plantes en fournissant de l'eau de manière régulière et efficace, adaptée à leurs besoins individuels.

Un système robot mobile de type voiture sera une solution innovante qui combine la technologie robotique et l'irrigation automatisée pour entretenir les espaces verts de manière efficace et autonome.

La réalisation d'un tel système nécessite une combinaison de connaissances en électronique, en informatique, en robotique et en horticulture. Pour le mettre en œuvre, il est essentiel d'intégrer des composants spécifiques tels que des capteurs d'humidité du sol, des vannes d'arrosage, des pompes à eau, des minuteries et des contrôleurs. En combinant ces instruments de manière cohérente et efficace, il est possible de concevoir un robot mobile intelligent capable de gérer l'arrosage des plantes de manière autonome et optimale.

### II.2 Objectifs de travail :

Dans le cadre de ce projet, l'objectif est de développer un robot mobile de type voiture équipé de deux modes de fonctionnement : autonome et télécommandé. Notre système sera capable d'arroser les plantes individuels et/ou les espaces verts d'une manière autonome tout en évitant les obstacles qui les rencontre lors de l'effectuation

de la tâche tel que les meubles de jardin ou les bordures, et si on veut piloter la procède de l'irrigation on passe vers le deuxième mode de marche « la télécommande à travers un smartphone ». En plus de l'arrosage le système visera à économiser les quantités d'eau délivrés aux planteset aux champs agricoles en fonction des besoins de ces dernières en se basant sur l'humidité du sol dune parte et la température de l'air d'autre parte. Notre robot offre ainsi une solution pratique et efficace pour réduire les ressources humaines.

## **II.3Instrumentation utilisé :**

### **II.3.1 Le servomoteur FS90R:**

Un servomoteur est un système motorisé capable d'atteindre des positions prédéterminées, puis de les maintenir.

De manière semblable aux moteurs à courant continu, les servomoteurs disposent d'un axe de rotation qui est en revanche entravé par un système de bridage [35].

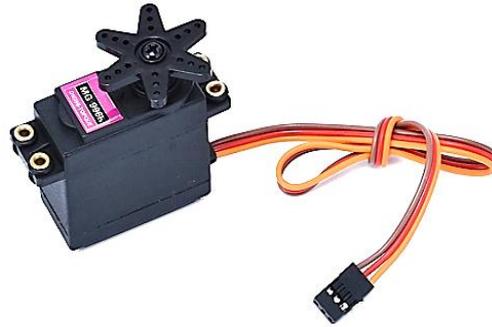
Nous utiliserons un servomoteur pour déplacer le capteur d'humidité du sol dans et hors du sol afin d'obtenir les lectures du niveau d'humidité du sol.



*Figure II.1: Servomoteur « FS90R »[35].*

### **II.3.2 Le servomoteur MG996R :**

Ce servo numérique est le plus haut de la gamme de taille standard TowerPro, il est équipé de pignons métaux et de 2 roulements lui assurant une précision et une longévité sans égale [36].



**Figure II.2:** image montreun servomoteur « MG996R »[36].

### II.3.3 Le microcontrôleur ESP32 :

Le microcontrôleur ESP32 est un composant de contrôle complet conçu pour les objets connectés. Il possède un processeur dual-core rapide, des fonctionnalités Wi-Fi et Bluetooth intégrées, ainsi que des capteurs de mouvement et de pression. Avec beaucoup de mémoire pour stocker des programmes et des données, l'ESP32 est largement utilisé dans la robotique, l'automatisation et les objets connectés pour sa puissance de traitement, sa connectivité sans fil et son efficacité énergétique.

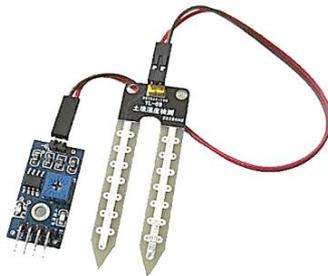
Nous l'utilisons pour la communication sans fil avec un smartphone pour contrôler le robot à distance.



**Figure II.3:** image montreun microcontrôleur « ESP32 »[37].

### II.3.4 Capteur d'humidité du sol (CHS) :

Le CHS est un dispositif simple, utilisé pour déterminer l'humidité du sol dans lequel il est immergé. Ce capteur peut être utilisé pour mesurer l'humidité du sol dans diverses applications telles que l'agriculture, la gestion des jardins et les systèmes d'irrigation. Il communique généralement via une liaison UART avec une carte compatible pour transmettre les données d'humidité du sol.



*Figure II.4: image montreun CHS « YL-69 »[38].*

### II.3.5 Module L293D :

Le L293D est un circuit intégré monolithique à 4 canaux, haute tension et courant élevé. En substance, cela signifie que vous pouvez utiliser des moteurs à courant continu et des alimentations jusqu'à 36 Volts avec cette puce. Il peut fournir un courant maximal de 600mA par canal et est connu comme un type de pont en H, un circuit électrique permettant de contrôler la direction du courant dans une charge, comme un moteur, dans les deux sens [39].



*Figure II.5:image montreun Module L293D[39].*

### II.3.6 Module Relais 5V, 2 Canaux :

Ce module relais à 2 canaux permet de contrôler facilement, avec une tension de 5V, la commutation de charges élevées à partir d'un microcontrôleur, comme un Raspberry Pi ou un Arduino, pour des applications telles que l'automatisation de l'arrosage. Chaque relais peut être activé ou désactivé individuellement via une entrée numérique opto-isolée, offrant ainsi la possibilité de contrôler jusqu'à 2 charges distinctes. Les connexions sont accessibles via des bornes à vis, facilitant leur connexion à une carte à l'aide de fils. Ce module est adapté pour diverses applications, y compris le contrôle des microcontrôleurs, l'industrie, les systèmes de contrôle PLC, et les applications de maison intelligente.



*Figure II.6: image montre un Module Relais 5V, 2 Canaux [40].*

### II.3.7 Pompe à eau 5V :

La pompe à eau 5V est un équipement essentiel pour les amateurs d'auto et de moto. Que ce soit pour le lavage de votre véhicule, le remplissage du réservoir ou l'arrosage des plantes, cette pompe compacte et puissante vous permettra d'effectuer toutes ces tâches rapidement et efficacement. Avec une tension de 5V, elle est facilement alimentée par une batterie de voiture ou une prise USB [41].



*Figure II.7: image illustre une pompe d'eau [41].*

### II.3.8 Capteur LIDAR :

Les capteurs LIDAR fonctionnent de manière assez similaire aux capteurs à ultrasons, mais utilisent la lumière au lieu du son. Un laser est pulsé et le capteur mesure le temps nécessaire pour que l'impulsion rebondisse. Ils peuvent souvent être plus fiables que les ultrasons, car ils ont des « profils de faisceau » plus étroits et sont moins sensibles aux interférences [42].



*Figure II.8: image illustreun capteur lidar « LIDAR Lite v3 » [42].*

### II.3.9 Capteur de débit d'eau (CDE) :

Le CDE est un capteur qui mesure la quantité d'eau qui traverse une conduite ou un tuyau. Il peut être utilisé dans de nombreuses applications, telles que la mesure de la consommation d'eau dans une maison, la mesure du débit d'eau dans un système de refroidissement ou la mesure de la quantité d'eau utilisée dans l'irrigation [43].



*Figure II.9: image illustreun CDE « YF-S401 » [43].*

### II.3.10 Module LM2596 :

Ce module est basé sur le régulateur à découpage abaisseur LM2596. Dans ce module, la tension de sortie est réglable par la résistance réglable et le courant de sortie maximum jusqu'à 2A. La fréquence de commutation est de 150 kHz et son rendement est élevé, jusqu'à 92 % maximum [44].



*Figure II.10: image montre Le module abaisseur LM2596 [44].*

### II.3.11 Capteur de niveau d'eau (CNE) :

Ce capteur d'eau est idéal pour détecter le niveau d'eau. Les traces déterminent la quantité d'eau présente. Il a les caractéristiques suivantes :

- Tension : 3-5 V (20 mA).
- Zone de détection : 40 mm x 16 mm.
- Température de fonctionnement : 10 – 30 C°.
- Taille : 62x20x8mm [45].

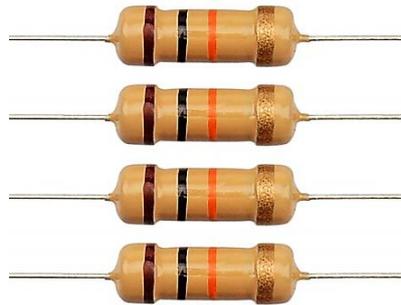


*Figure II.11: image montre un CNE [45].*

### II.3.12 Résistances 10 kOhm :

Ces résistances sont utilisées pour détecter le niveau d'eau. Ils ont les caractéristiques suivantes :

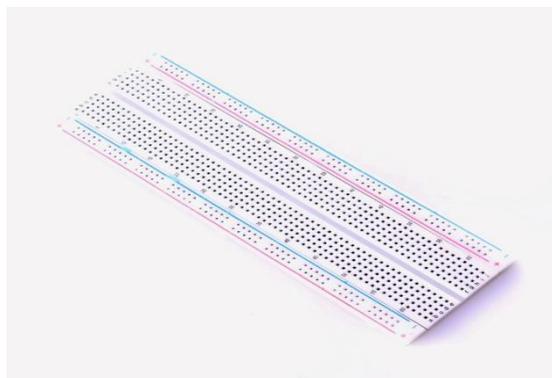
- Résistance : 10 000 ohms (10 kilo ohms)
- Puissance nominale : 0,25 W (1/4 W)
- Tolérance :  $\pm 5\%$
- Plage de températures de fonctionnement :  $-55$  à  $+155^{\circ}\text{C}$  [46].



*Figure II.12: image montre quatre résistances de 10 kOhms [46].*

### II.3.13 Planche à pain colorée MB102 :

Il s'agit d'une planche à pain de haute qualité avec 830 points de connexion, ce qui correspond à la taille standard. La planche est dotée de rails positifs et négatifs (rouges et bleus) soigneusement marqués avec des chiffres pour la rendre adaptée aux débutants. Il comporte également des trous bien conçus qui s'ajustent en douceur aux composants et permettent une grande réutilisation. Cette planche à pain colorée est également dotée d'un ruban adhésif derrière elle qui peut être utilisée si vous souhaitez monter la planche de manière permanente à un endroit [47].



*Figure II.13: image montre une planche à pain colorée « MB102 » [47].*

## **II.4 Structure mécanique :**

Avant de commencer la modélisation de mon système d'arrosage j'ai d'abord installé le logiciel SolidWorks (version étudiant professionnel 2023) après avoir le fichier exécutable et le numéro de série d'activation de la version via un courrier électronique. Une fois l'installation est terminée l'étape de la conception commence, ma concession est devisée en trois principales parties qui ont respectivement :

**Le choix et la modélisation de la structure globale du robot :** en se basant sur les outils de conception fournit par ce logiciel et les informations obtenues à partir de quelques cours en ligne j'ai conçu le châssis, les roues, et les moteurs du robot.

**L'instrumentation du robot :** Pour compléter ma modélisation dans SolidWorks, j'ai téléchargé des composants électroniques 3D à partir du site GrabCAD. GrabCAD offre une vaste bibliothèque de modèles 3D créés par des professionnels et des passionnés du monde entier. Après avoir navigué sur le site et trouvé les composants nécessaires à mon projet, j'ai simplement sélectionné les fichiers correspondants et les ai téléchargés sur mon ordinateur. Ensuite, dans SolidWorks, j'ai importé ces modèles 3D pour les intégrer dans ma conception, ce qui m'a permis de visualiser et d'ajuster leur placement et leur orientation avec précision. Cette ressource s'est avérée extrêmement utile pour accélérer mon processus de conception et assurer l'exactitude de mes modèles.

**L'assemblage du robot :** En utilisant les fonctionnalités d'assemblage de SolidWorks pour placer chaque composant dans la position appropriée, en tenant compte des relations de contrainte telles que les ajustements de surface, les liaisons mécaniques et les interférences éventuelles. En effet des outils comme les contraintes de coincement, les contraintes de contact, et les contraintes de montage pour aligner et fixer les pièces entre elles ont été utilisé, a la fin de cette réalisation 3D du modèle assiste par ordinateur on a obtenu la plateforme robot arroseur qui est illustré dans la figure II.12 ces dessous.

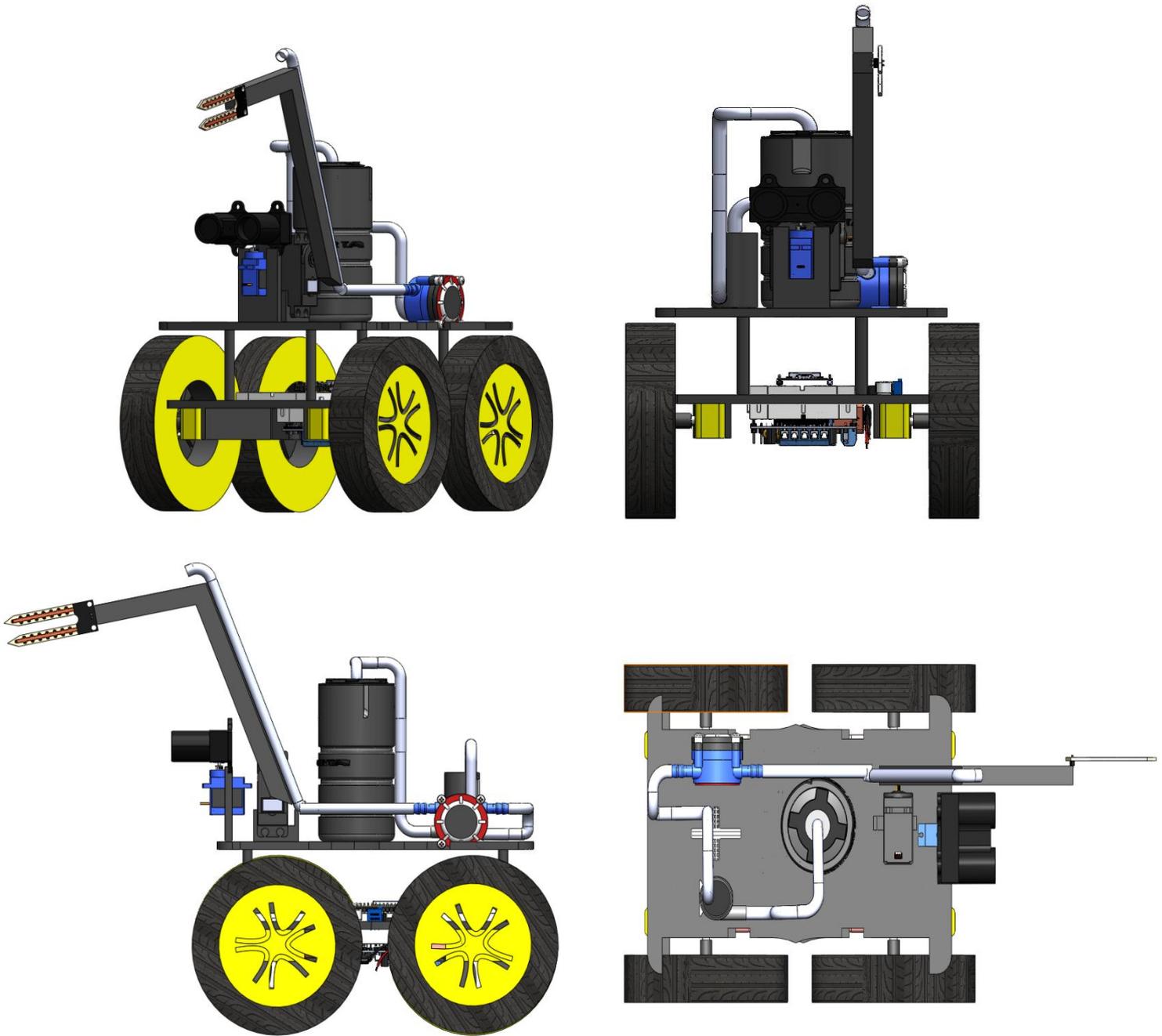


Figure II.14: images montrant la structure mécanique du robot.

## II.5 Structure électronique et instrumentation :

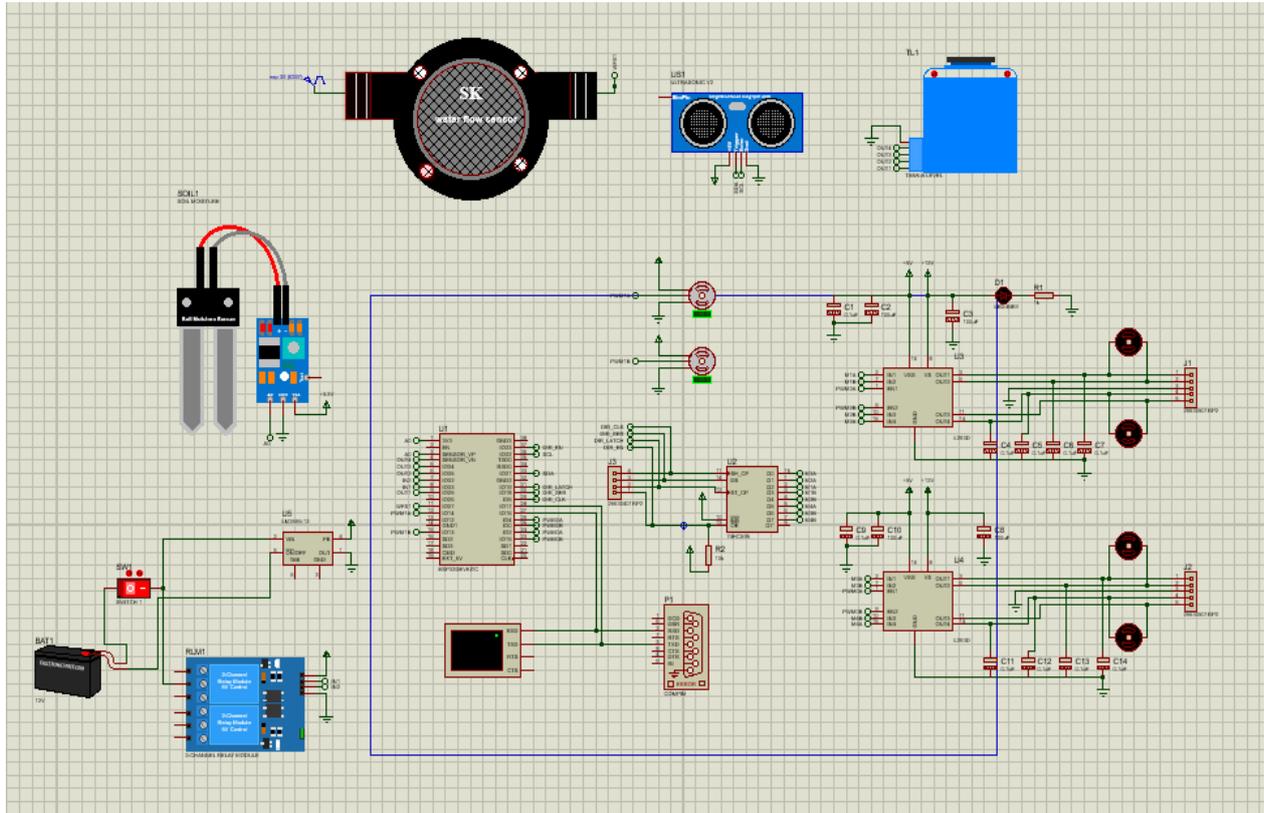


Figure II.15: schéma électronique globale du système sous logiciel Proteus.

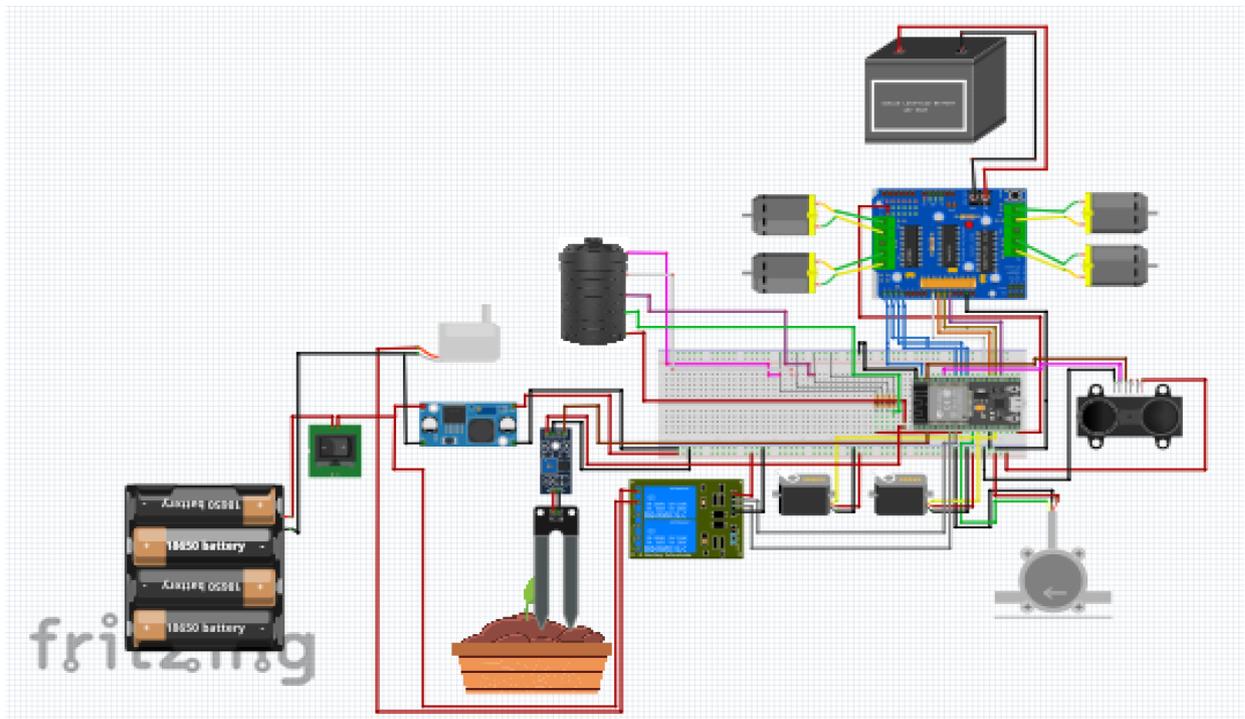


Figure II.16: schéma électronique globale du système sous logiciel Fritzing.

## **II.6 Conclusion :**

Dans ce chapitre les composants principaux adaptés au robot réalisé ont été présentés. Les schémas électroniques et la structure mécanique ont été réalisés. L'utilisation de la conception assistée par ordinateur (CAO) pour le développement de notre robot mobile s'est avérée être une approche essentielle et efficace. En combinant les fonctionnalités avancées de SolidWorks pour la conception de la structure mécanique avec les capacités de modélisation électronique de Proteus et Fritzing pour les schémas électroniques, nous avons créé un modèle complet et intégré de notre robot.

# **CHAPITRE III :**

## Réalisation du système d'arrosage automatique

# CHAPITRE III :

## Réalisation du système d'arrosage automatique

### III.1 Introduction :

Dans ce dernier chapitre, nous passons de la théorie à la pratique en présentant la réalisation concrète de notre projet : un robot voiture dédié à l'arrosage automatique. Nous détaillons les étapes de construction, les choix technologiques et les défis rencontrés lors du développement de ce système innovant. Cette phase finale démontre l'application directe des concepts étudiés dans ce mémoire, apportant ainsi une contribution tangible au domaine de l'automatisation agricole.

### III.2 Problématique :

La mise en œuvre d'un contrôle à distance via une application mobile représente un défi majeur dans notre projet de robot voiture pour l'arrosage automatique. Le recours aux fonctionnalités de communication sans fil de la carte ESP32 DevKitC offre une solution technique prometteuse, mais nécessite une attention particulière à plusieurs aspects. Tout d'abord, assurer une connexion stable et fiable entre l'application et le robot est essentiel pour garantir un contrôle précis et réactif, même dans des environnements perturbés. Ensuite, la conception d'une interface utilisateur simple et intuitive dans l'application constitue un défi clé afin de permettre aux utilisateurs de manipuler le robot facilement et efficacement. Enfin, la sécurité des communications sans fil doit être rigoureusement prise en compte pour protéger le système contre les intrusions et les cyberattaques. En surmontant ces obstacles, notre objectif est de fournir une solution de contrôle à distance robuste et conviviale, permettant aux utilisateurs de gérer l'arrosage de leurs cultures avec simplicité et efficacité depuis leur smartphone.

### **III.3 Solutions proposées :**

Dans le cadre de notre projet, nous proposons plusieurs solutions pour relever les défis liés au contrôle à distance via une application mobile utilisant les fonctionnalités de communication sans fil de la carte ESP32 DevKitC.

Tout d'abord, pour garantir une connexion stable et fiable entre l'application et le robot, nous envisageons d'optimiser les paramètres de communication sans fil, tels que la puissance de transmission et la fréquence, afin d'atténuer les interférences et d'assurer une portée adéquate. De plus, l'implémentation de protocoles de communication robustes et la mise en place de mécanismes de reconnexion automatique en cas de perte de signal contribueront à maintenir une connexion constante.

En ce qui concerne l'interface utilisateur de l'application, nous proposons de réaliser des tests utilisateurs pour recueillir des retours et améliorer l'ergonomie et la convivialité de l'interface. Nous envisageons également d'intégrer des fonctionnalités telles que des visualisations en temps réel de l'état du robot et des contrôles intuitifs pour faciliter la manipulation.

Enfin, pour garantir la sécurité des communications sans fil, nous prévoyons d'implémenter des mécanismes de cryptage et d'authentification pour protéger les données échangées entre l'application et le robot. De plus, la mise en place de pare-feu et de mesures de sécurité au niveau du réseau contribuera à prévenir les attaques externes.

En combinant ces solutions, nous visons à fournir une solution de contrôle à distance robuste, conviviale et sécurisée pour l'arrosage automatique à travers notre robot voiture.

### **III.4 Objectifs à atteindre :**

Les objectifs à atteindre dans notre projet de robot voiture pour l'arrosage automatique sont les suivants :

**Fiabilité du contrôle à distance :** Assurer une connexion stable et fiable entre l'application mobile et le robot, permettant un contrôle précis et réactif même dans des conditions environnementales variées.

**Convivialité de l'interface utilisateur :** Concevoir une interface utilisateur intuitive dans l'application mobile, facilitant la manipulation du robot et offrant une expérience utilisateur agréable.

**Sécurité des communications sans fil :** Mettre en place des mécanismes de cryptage et d'authentification pour protéger les données échangées entre l'application et le robot, ainsi que des mesures de sécurité au niveau du réseau pour prévenir les attaques externes.

**Efficacité de l'arrosage automatique :** Optimiser les algorithmes de contrôle pour garantir une distribution efficace de l'eau, en prenant en compte les besoins spécifiques des cultures et les caractéristiques du terrain.

**Autonomie et durabilité du système :** Maximiser l'autonomie du robot en optimisant la gestion de l'énergie, tout en assurant la durabilité et la robustesse des composants électroniques et mécaniques.

En atteignant ces objectifs, notre projet vise à fournir une solution complète et performante pour l'automatisation de l'arrosage des cultures, répondant aux besoins des utilisateurs tout en contribuant à l'efficacité et à la durabilité de l'agriculture moderne.

### **III.5 Contribution :**

Comme contribution dans mon projet de robot voiture dédié à l'arrosage automatique, je pourrai mettre en avant les points suivants :

**Innovation technologique :** Mon projet apporte une contribution significative en intégrant des technologies modernes telles que la communication sans fil via la carte ESP32 DevKitC et le contrôle à distance via une application mobile.

**Applicabilité pratique :** En réalisant un prototype fonctionnel de robot voiture d'arrosage, je démontre la faisabilité pratique de l'automatisation agricole à petite échelle. Cette contribution concrète ouvre la voie à des applications futures dans le domaine de l'agriculture intelligente et de la robotique agricole.

**Solutions techniques :** la proposition des solutions techniques pour relever les défis spécifiques liés à la conception et au développement du système, notamment en ce qui concerne la communication sans fil, l'interface utilisateur et la gestion de

l'énergie. Ces solutions pourraient être utilisées comme références pour d'autres projets similaires dans le domaine de la robotique et de l'automatisation.

**Amélioration de la productivité agricole :** En automatisant le processus d'arrosage des cultures, mon projet contribue à améliorer l'efficacité et la productivité agricoles. Cette contribution a un impact potentiel sur la réduction des coûts de main-d'œuvre, l'économie d'eau et l'optimisation des rendements agricoles.

En mettant en avant ces contributions, je démontre l'originalité et la valeur ajoutée de mon projet dans le domaine de l'automatisation agricole et de la robotique appliquée à l'agriculture.

### III.6 Schéma générale du programme réalisé :

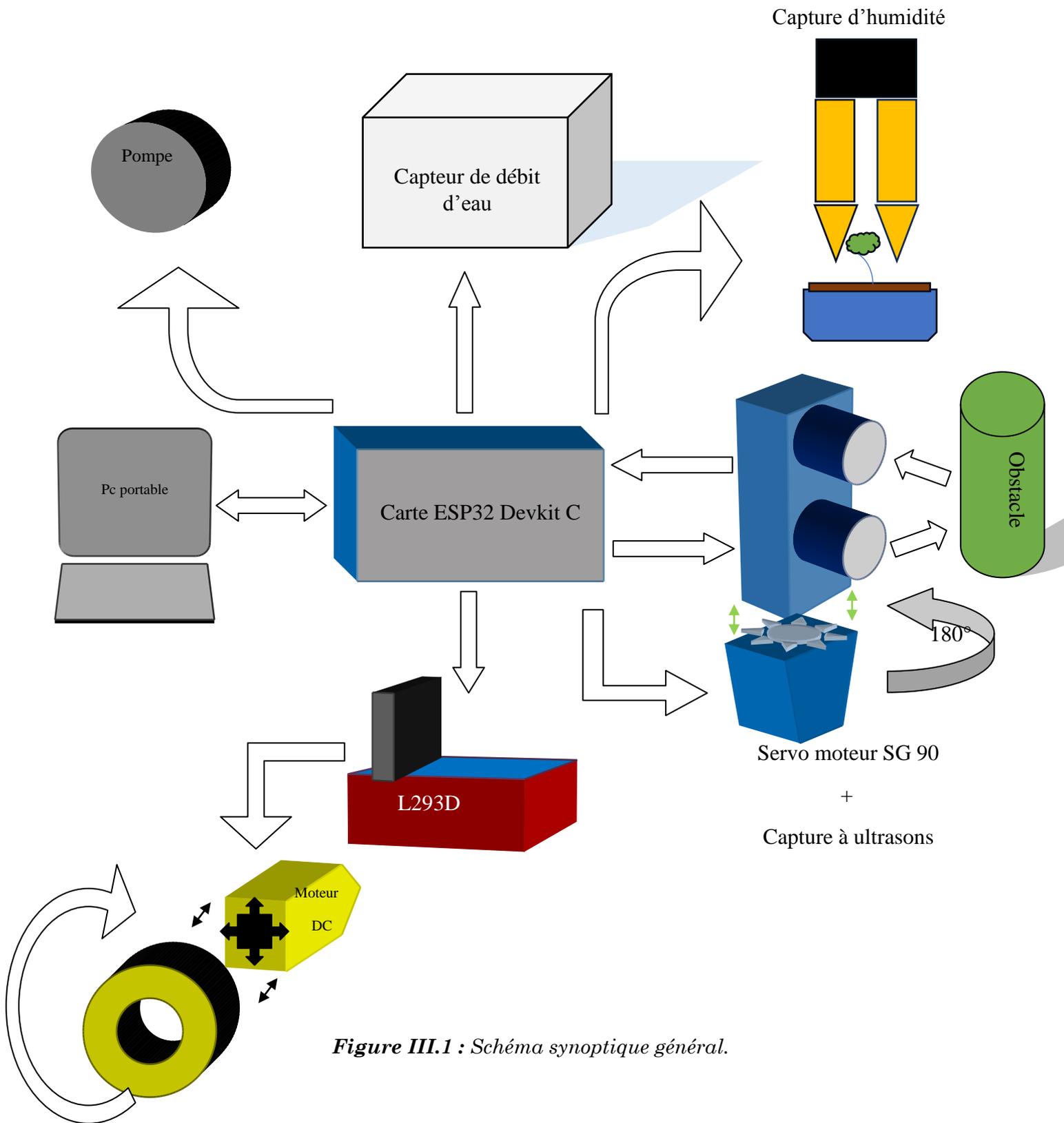


Figure III.1 : Schéma synoptique général.

### III.7 Algorithme principale du fonctionnement du système :

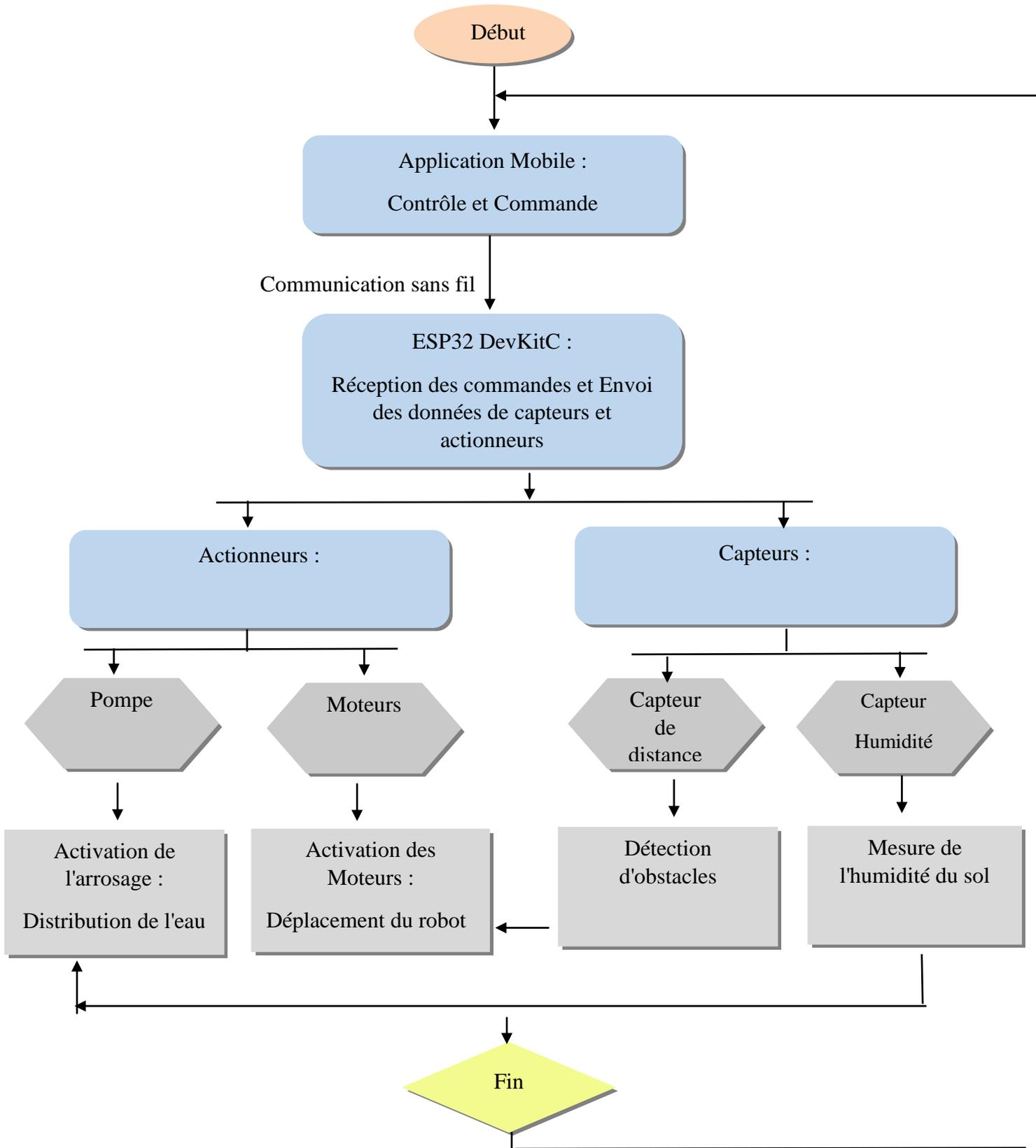


Figure III.2 : Algorithme principale du fonctionnement.

III.8 Images réelles du système d'arrosage :

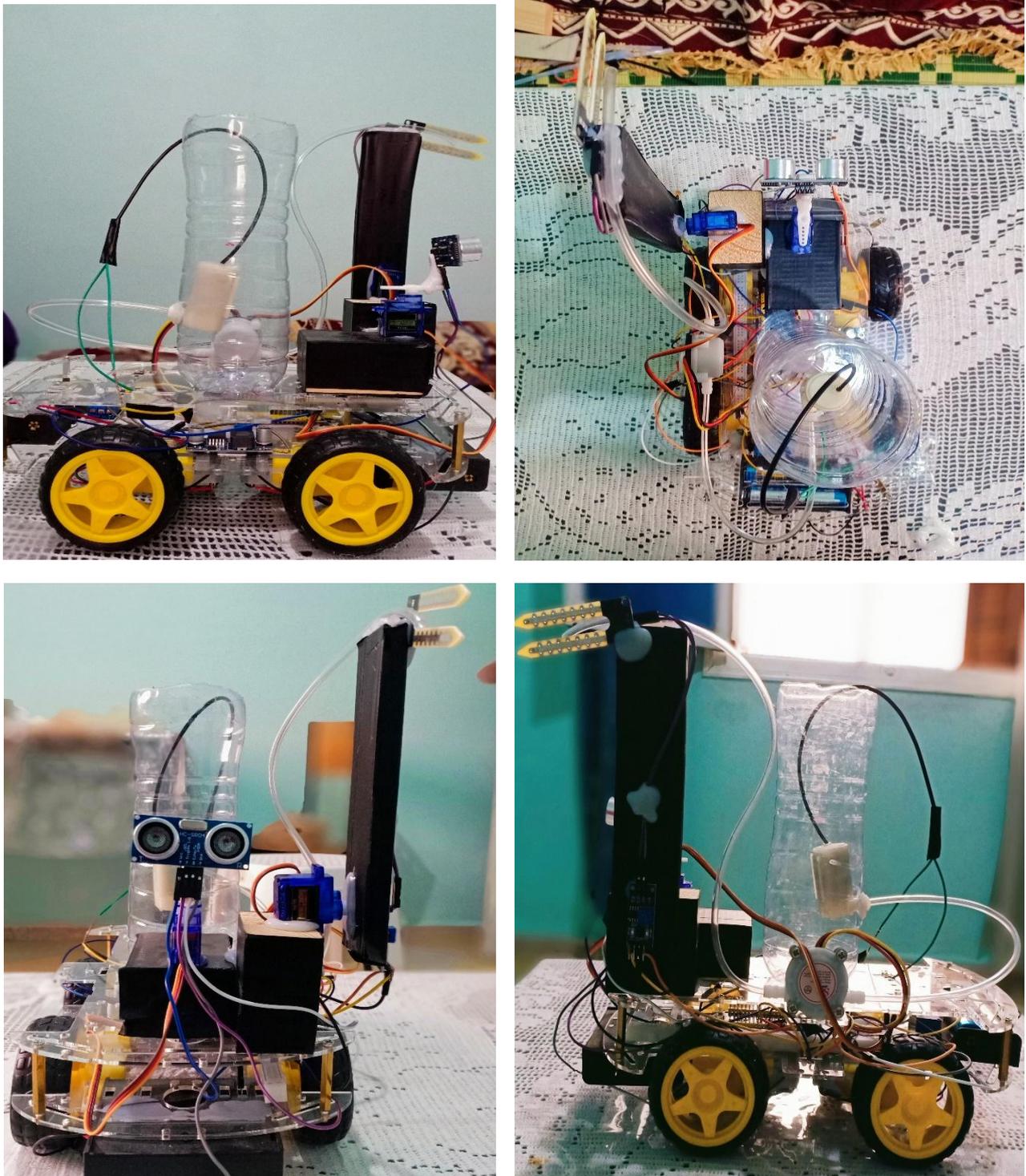


Figure III.3 : images réelles du robot.

### III.9 Avantages et les inconvénients du système :

Avantages	Inconvénients
<b>Facilité d'utilisation :</b> Contrôler le robot depuis un smartphone est simple et pratique pour les utilisateurs.	<b>Dépendance à internet :</b> Le contrôle du robot nécessite une connexion internet stable.
<b>Contrôle précis :</b> Les utilisateurs peuvent ajuster les mouvements et les paramètres d'arrosage avec précision.	<b>Risque de piratage :</b> Les systèmes connectés peuvent présenter un risque de sécurité.
<b>Flexibilité :</b> Le contrôle à distance permet d'arroser le jardin depuis n'importe où.	<b>Portée limitée :</b> La portée du contrôle peut être limitée par la connexion sans fil.
<b>Surveillance en temps réel :</b> Certains systèmes offrent la possibilité de surveiller les activités du robot en direct.	<b>Dépendance à la batterie :</b> L'autonomie du robot est limitée par la durée de vie de la batterie.

*Tableau III.1 : Les avantages et les inconvénients du système.*

### III.10 Etude technique économique :

Produit	Prix	Quantité	Total
Châssis robot voiture 4 roues	4,800.00 ج.د.	1	4,800.00 ج.د.
Batterie rechargeable Li-ion AP 4500 18650 3.7V 1200mAh	550.00 ج.د.	5	2,750.00 ج.د.
Support pile lithium 18650x3	320.00 ج.د.	1	320.00 ج.د.
Support pile lithium 18650x2	250.00 ج.د.	1	250.00 ج.د.
Ultrason hc-sr 04	650.00 ج.د.	1	650.00 ج.د.
Pack file de connexion male-femelle dupont jumpers multi couleur 20cm 40pcs	650.00 ج.د.	1	650.00 ج.د.
Carte de développement ESP32 ESP-32 38Pin (ultra-basse consommation)	2,000.00 ج.د.	1	2,000.00 ج.د.
Capteur humidité sol Arduino YL 69	450.00 ج.د.	1	450.00 ج.د.
Contrôleur de moteurs L293D	1,200.00 ج.د.	1	1,200.00 ج.د.

Convertisseur abaisseur lm2596	500.00 ج.د	1	500.00 ج.د
Câbles flexibles de 20CM deux extrémités étamée	225.00 ج.د	1	225.00 ج.د
Kit de 40 wires male-male 20 cm premium dupont	600.00 ج.د	1	600.00 ج.د
Module de relais à 1 canal	450.00 ج.د	1	450.00 ج.د
Mini micro pompes à eau submersibles	1,000.00 ج.د	1	1,000.00 ج.د
Servo moteur sg90 (angle de contrôle 180)	600.00 ج.د	1	600.00 ج.د
Interrupteur à bascule rond 6a/250V - Rouge	100.00 ج.د	1	100.00 ج.د
Expédition :	500.00 ج.د	1	500.00 ج.د
Total			17,045.00 ج.د

**Tableau III.2 : Etude technique économique.**

### **III.11 Conclusion :**

En conclusion, ce chapitre marque la réussite de notre projet de réalisation d'un robot voiture pour l'arrosage automatique, piloté par une application mobile. Nous avons surmonté divers défis pour créer un système pratique et fonctionnel. Avec une interface conviviale et des fonctionnalités précises, notre solution offre un moyen simple et efficace d'arroser les jardins à distance. Bien que quelques défis subsistent, nous sommes confiants dans notre capacité à les surmonter avec de futures améliorations. En somme, ce projet illustre notre engagement à innover pour répondre aux besoins modernes, et représente une étape significative dans notre parcours d'ingénieurs.

# **Conclusion générale**

## **CONCLUSION GÉNÉRALE**

Dans ce mémoire, nous avons présenté un état de l'art sur les commandes utilisées en robotique mobile, en mettant en lumière les robots à roues. Le cœur de notre travail est dédié à l'étude théorique et à la réalisation pratique de la plateforme expérimentale " robot voiture ", adapté spécifiquement pour l'arrosage automatisé.

La conception de notre modèle a suivi deux étapes principales : la conception assistée par ordinateur (CAO) et sa mise en œuvre pratique. Pour ces deux phases, nous avons utilisé la programmation orientée objet et visualisé les résultats obtenus. Nous avons également exploré les aspects de la commande à distance grâce à la fonctionnalité Bluetooth de l'ESP32, permettant une gestion flexible et précise du robot depuis une application mobile.

En guise de perspectives pour ce projet, des améliorations significatives pourraient être apportées au système embarqué, telles que l'intégration de capteurs plus performants comme des capteurs laser ou des caméras pour des résultats plus fiables et précis. De plus, l'utilisation d'un ensemble de capteurs rotatif ou une augmentation du nombre de capteurs pourrait être envisagée pour couvrir efficacement l'environnement et optimiser les trajets d'arrosage.

Ce projet nous a permis de découvrir et de consolider nos connaissances en électronique, mécanique et en informatique, il nous a aussi permis de découvrir le microcontrôleur ESP 32 et la plateforme SolidWorks.

Enfin ce projet était une occasion de nous initier au domaine de l'embarqué. Ce dernier qui est devenu un grand domaine de recherche aujourd'hui.

## REFERENCES

- [1] : Y. Oumoussa, N. Rebiai, Commande à distance d'un robot mobile, Mémoire de master, Université de Mouloud Mammeri de Tizi Ouzou. 2016.
- [2] : Site POSITRON-LIBRE, Qu'est-ce que la robotique, 2004, Date de consultation 24/02/2024. <https://www.positron-libre.com>.
- [3] : L. MATIGNON, Introduction à la robotique. Cours Licence 1<sup>ère</sup> année, Université de Caen, France. 2011/2012. <https://fr.scribd.com>
- [4] : A. Merbah, Y. Berkane, Commande des mouvements d'un robot mobile par logique floue, Mémoire de master, Université Saad Dahlab de blida. 2017.
- [5] : Site ROBOTMAG, Robot-Magazine, 2024, Date de consultation 23/02/2024. <https://www.robot-magazine.fr>.
- [6] : Site CANOPROF, La robotique aux cycles 3 et 4, 1725-1801 Métiers à tisser automatisés, Date de consultation : 18/03/2024. <https://atelier-canope-95.canoprof.fr>.
- [7] : Site TIMETOAST, Histor de la robotique, by fed123, 2007, Date de consultation : 18/03/2024. <https://www.timetoast.com>.
- [8] : Site CANOPROF, La robotique aux cycles 3 et 4, 1730-1830 Automates androïdes Date de consultation : 18/03/2024. <https://atelier-canope-95.canoprof.fr>.
- [9] : Site CANOPROF, La robotique aux cycles 3 et 4, 1898 : Nikola Tesla, création du premier « robot » télécommandé, Date de consultation : 18/03/2024. <https://atelier-canope-95.canoprof.fr>.
- [10] : Site CANOPROF, La robotique aux cycles 3 et 4, 1970-1980 Premiers rovers, Date de consultation : 18/03/2024. <https://atelier-canope-95.canoprof.fr>.
- [11] : Site CANOPROF, La robotique aux cycles 3 et 4, Robots de service, Date de consultation : 18/03/2024. <https://atelier-canope-95.canoprof.fr>.
- [12] : M. Brie, Histoire des clepsydres égyptiennes à eau, 12 juin 2017, Date de consultation : 19/03/2024. <https://www.mariellebrie.com>.

- [13] : H. Frithowulf, Chronologie de la roue : histoire et invention, 20 septembre 2023, Date de consultation : 19/03/2024. <https://malevus.com>.
- [14] : Kh.Ziane, M. Ndiaye serigne, M. Ait taleb, Robot Eviteur Obstacles, Rapport de mini projet, Université internationale de Casablanca. 21/07/2019.
- [15] : Site GENERATION ROBOTS, Robot Mobile RR100 EDU (UGV compatible ROS), 2008, Date de consultation : 20/03/2024. <https://www.generationrobots.com>.
- [16] : Site NIRGAL, Le robot Sojourner, Schémas techniques, 15 octobre 2000, Date de consultation : 20/03/2024. <https://www.nirgal.net>.
- [17] : Site : 365 ONLINE, QIDJRS, Mars Rover Sojourner 3D Model, 2019, Date de consultation : 20/03/2024. <https://www.qidjrs.shop>.
- [18] : Site : MACEROBOTICS, Contrôle d'un robot avec un smartphone, 4 Novembre 2016, Date de consultation : 20/03/2024. <https://fr.macerobotics.com>.
- [19] : S. Lens, Locomotion d'un robot mobile, Travail de fin d'études, Université de Liège - Faculté des Sciences Appliquées Institut Montefiore. Mai 2008.
- [20] : Site : NIFDTHHE, Pioneer 3-DX Mobile Robot, AynurZakirov, 2019, Date de consultation : 27/03/2024. <https://www.nifdthhe.shop>.
- [21] : Site : SEED STUDIO, Tricycle Bot, 2024, Date de consultation : 27/03/2024. <https://wiki.seeedstudio.com>.
- [22] : Site : TECHNOLOGUE PRO, outils de calcul en ligne, 2024, Date de consultation : 27/03/2024. <https://www.technologuepro.com>.
- [23] : Site : PINTEREST, 3WD Triangular 100mm omni wheel mobile robotics car C003, Date de consultation : 27/03/2024. <https://www.pinterest.com>.
- [24] : Site : INTELLIGENCE-ARTIFICIELLE-ROBOTIQUE.WEEBLY, Les robots holonomes et les robots non-holonomes, date de consultation : 27/03/2024. <https://intelligence-artificielle-robotique.weebly.com>.
- [25] : Sebleouf, Commande des robots,Wikipédia, l'encyclopédie libre, 15/11/2023, Date de consultation : 27/03/2024. <https://fr.wikipedia.org>.
- [26] : B. Bayle, Robotique mobile, January 2016, Date de consultation : 27/03/2024. <https://www.researchgate.net>.

- [27] : Gh. Zidani, Commande Robuste d'un Robot Mobile à Roues, Thèse de doctorat, Université de Batna 2, Faculté de Technologie, Département D'électronique. 2017.
- [28] :F. BOUGUEROUA. Commande des robots mobiles, Memoire de master, university center of abdalhafidboussof-MILA. 2022.
- [29] : Salah Eddine Ghamri, Commande Neuronale d'un Robot Mobile Non-Holonome avec glissement des roues, Mémoire de master, Université de Batna 2. 2016.
- [30] : M. Fnadi, Commande prédictive et estimation des paramètres d'environnement pour un rover rapide, Thèse de doctorat, Sorbonne Université. 2019.
- [31] : KH. Tabti, développement d'une commande hybride appliquée a la stabilité latérale d'un véhicule électrique, Thèse de doctorat, Université des sciences et de technologie d'Oran Mohamed Boudiaf. 2015.
- [32] : O. Bouguerne, Kh. Bounib, Commande adaptative via le backstepping filtré d'une classe des systèmes non- linéaires incertains avec zone-morte à l'entrée, Mémoire de master, Université Mohamed SeddikBenyahia – Jijel. 2019.
- [33] : BENOIT BELOBO MEVO, contribution à la commande adaptative et robuste d'un robot mobile de type unicycle avec modelé non-linéaire, Mémoire de maitrise, Université de Québec. 2019.
- [34] : Julien Dupré de Baubigny, Etudes du nanomérisque par AFM et SEM : hydrodynamique de la couche visqueuse, élasticité de l'interface et dynamique de la ligne de contact, researchgate.2014.
- [35] : Site : PECQUERY.WIXSITE, Arduino-passion, le servomoteur, 2016, Date de consultation : 01/04/2024. <https://pecquery.wixsite.com>.
- [36] : Site : CENTRONIK, Servomoteur mg996r cit-054, 2024, Date de consultation : 06/05/2024. <https://centronik.ci/boutique/servomoteur-mg996r>.
- [37] : Site : ROBOTIQUE, Construction d'un robot commandé par la carte ESP32 qui détecte et évite les obstacles, 07/02/23, Date de consultation : 01/04/2024. <https://www.robotique.tech>.

- [38] : Site : ETQAN, soilmoisture water sensor, Date de consultation : 01/04/2024.  
<https://etqan.sa>.
- [39] : Site : TUNI-SMART-INNOVATION, L293D Pont H Shield, 2024, Date de consultation : 01/04/2024. <https://tuni-smart-innovation.com>.
- [40] : Site : YOUPILAB, Module Relais 5V, 2 Canaux, 2024, Date de consultation : 01/04/2024. <https://youpilab.com>.
- [41] : Site : CDISCOUNT, pompe eau 5v, Date de consultation : 01/04/2024.  
<https://www.cdiscount.com>.
- [42] : Site : DOCS.WPILIB, Les capteurs de type LIDAR, 2024, Date de consultation : 01/04/2024. <https://docs.wpilib.org>.
- [43] : Site : ROBOTIQUE, Capteur de débit d'eau YF-S401, Date de consultation : 01/04/2024. <https://www.robotique.site>.
- [44] : Site : MAKERFABS, Adjustable Mini DC-DC Module- LM2596S, 2023 : Date de consultation : 01/04/2024. <https://www.makerfabs.com>.
- [45] : Site : OTRONIC, Capteur d'eau pour Arduino | ESP32 | ESP8266, 2023, Date de consultation : 04/04/2024. <https://www.otronic.nl>.
- [46]:Site:AMAZON, LABPARTS 10k ohm (kilo-ohm) Resistor, ±5% Tolerance, 1/4W Fixed Resistor (10 kilo ohm ±5%) (200), 1996, Date de consultation: 06/05/2024.  
<https://www.amazon.in>
- [47] : Site :QUARTZCOMPONENTS,MB102 Colored Breadboard - 830 Points, 2023, Date de consultation : 06/05/2024. <https://quartzcomponents.com>.

## ANNEXES

```
#include<Adafruit_MotorShield.h>

#include<Wire.h>
#include<Servo.h>
#include<NewPing.h> // Bibliothèque pour le capteur ultrason HC-SR04
#include<BluetoothSerial.h> // Bibliothèque pour la communication Bluetooth

int armPosition = 90; // Position initiale du bras d'arrosage

// Variables pour le mode auto
const int obstacleThreshold = 30; // Seuil de distance en cm pour la détection
d'obstacle
bool obstacleDetected = false; // Indique si un obstacle est détecté
bool obstacleAvoidingLeft = false; // Indique si on évite l'obstacle en tournant à
gauche

// Définition des pins pour le Motor Shield
#define M1_DIR_PIN 12
#define M1_PWM_PIN 3
#define M2_DIR_PIN 13
#define M2_PWM_PIN 11
#define M3_DIR_PIN 8
#define M3_PWM_PIN 10
#define M4_DIR_PIN 7
#define M4_PWM_PIN 9

// Création de l'objet Motor Shield
Adafruit_MotorShield AFMS = Adafruit_MotorShield();
Adafruit_DCMotor *motor1 = AFMS.getMotor(1);
Adafruit_DCMotor *motor2 = AFMS.getMotor(2);
Adafruit_DCMotor *motor3 = AFMS.getMotor(3);
Adafruit_DCMotor *motor4 = AFMS.getMotor(4);

// Définition des pins pour les servomoteurs
#define SERVO_ARM_PIN 15
#define SERVO_ULTRASONIC_PIN 14
Servo servoArm;
Servo servoUltrasonic;

// Définition des pins pour les capteurs
#define HUMIDITY_SENSOR_PIN A0
#define FLOW_SENSOR_PIN 2 // Pin interrupt pour le capteur de débit

// Définition des objets pour les capteurs
NewPing ultrasonicSensor(0, 0); // Le pin du capteur HC-SR04 sera configuré
dynamiquement
```

```
// Déclaration de la communication Bluetooth
BluetoothSerialSerialBT;

// Variables globales
boolautoMode = false; // Mode auto ou manuel
intarmPosition = 90; // Position initiale du bras d'arrosage
volatilefloatflowRate = 0; // Débit d'eau en L/min

// Interruption pour le capteur de débit d'eau
voidflowSensorISR(){
    flowRate++; // Incrémente le débit
}

voidsetup(){
    // Initialisation des moteurs
    AFMS.begin();
    motor1->setSpeed(255);
    motor2->setSpeed(255);
    motor3->setSpeed(255);
    motor4->setSpeed(255);

    // Initialisation des servomoteurs
    servoArm.attach(SERVO_ARM_PIN);
    servoArm.write(armPosition); // Positionne le bras d'arrosage à 90° au
démarrage
    servoUltrasonic.attach(SERVO_ULTRASONIC_PIN);

    // Initialisation des capteurs
    pinMode(FLOW_SENSOR_PIN, INPUT_PULLUP);
    attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(FLOW_SENSOR_PIN), flowSensorISR, RISING);

    // Initialisation de la communication Bluetooth
    SerialBT.begin("ESP32 Robot"); // Nom du périphérique Bluetooth

    // Attente de la connexion Bluetooth
    while(!SerialBT.connected()){
        delay(100);
    }
}

voidloop(){
    // Lecture de la commande Bluetooth
    if(SerialBT.available()){
        char command = SerialBT.read();

        // Interprétation de la commande reçue
        switch(command){
            case 'F':
                moveForward();
                break;
        }
    }
}
```

```
    case 'B':
        moveBackward();
        break;
    case 'L':
        turnLeft();
        break;
    case 'R':
        turnRight();
        break;
    case 'U':
        raiseArm();
        break;
    case 'D':
        lowerArm();
        break;
    case 'A':
        autoMode = !autoMode; // Toggle du mode auto/manuel
        break;
    default:
        stopMotors();
        break;
}
}

// Mode auto : évitement d'obstacles
if(autoMode){
    // Mesure de la distance avec le capteur ultrason
    int distance = ultrasonicSensor.ping_cm();

    // Vérification si un obstacle est détecté
    if(distance >0&& distance <obstacleThreshold){
        obstacleDetected = true;
        stopMotors(); // Arrête tous les moteurs

        // Décide de la direction d'évitement
        if(!obstacleAvoidingLeft){
            turnLeft(); // Tourne à gauche
            obstacleAvoidingLeft = true;
        }else{
            turnRight(); // Tourne à droite (inverse)
            obstacleAvoidingLeft = false;
        }

        delay(500); // Délai pour la rotation (ajustez si nécessaire)
    }else{
        // Aucun obstacle détecté, continue d'avancer
        obstacleDetected = false;
        moveForward();
    }
}
```

```
// Lecture de l'humidité du sol
inthumidityValue = analogRead(HUMIDITY_SENSOR_PIN);

// Lecture du débit d'eau
floatcurrentFlowRate = flowRate / 7.5; // Conversion du débit en L/min
flowRate = 0; // Réinitialisation du débit

// Envoi des données via Bluetooth
SerialBT.print("H:");
SerialBT.print(humidityValue);
SerialBT.print(", F:");
SerialBT.print(currentFlowRate);
SerialBT.println();

delay(100); // Délai pour stabiliser la communication Bluetooth
}

// Fonctions de contrôle du robot

voidmoveForward(){
  motor1->run(FORWARD);
  motor2->run(FORWARD);
  motor3->run(FORWARD);
  motor4->run(FORWARD);
}

voidmoveBackward(){
  motor1->run(BACKWARD);
  motor2->run(BACKWARD);
  motor3->run(BACKWARD);
  motor4->run(BACKWARD);
}

voidturnLeft(){
  motor1->run(FORWARD);
  motor2->run(BACKWARD);
  motor3->run(FORWARD);
  motor4->run(BACKWARD);
}

voidturnRight(){
  motor1->run(BACKWARD);
  motor2->run(FORWARD);
  motor3->run(BACKWARD);
  motor4->run(FORWARD);
}

voidstopMotors(){
  motor1->run(RELEASE);
```

```
motor2->run(RELEASE);
motor3->run(RELEASE);
motor4->run(RELEASE);
}

voidraiseArm(){
  if(armPosition<180){
    armPosition += 10; // Augmente l'angle du bras
    servoArm.write(armPosition);
    delay(100); // Attente pour le mouvement du servo
  }
}

voidlowerArm(){
  if(armPosition>0){
    armPosition -= 10; // Diminue l'angle du bras
    servoArm.write(armPosition);
    delay(100); // Attente pour le mouvement du servo
  }
}
```

## **Résumé :**

Le but majeur des systèmes embarqués vise à fusionner le monde virtuel de l'informatique avec le monde physique de l'électronique afin d'assurer la fiabilité, rapidité, et la flexibilité des ressources du monde réel en temps réel avec moins des contraintes. Ce projet a pour but de réaliser un prototype de système robot arroseur des espaces verts et éviteur d'obstacles à base de la carte ESP32, capable d'arroser des plantes dans n'importe quel environnement, le travail consiste à faire une étude générale sur la théorie des Robots, sur la commande utilisée, la carte électronique ESP32, le langage de programmation C++. A la fin de ce travail, un dispositif robot arroseur a été conçu, et testé.

**Mots clés :** Obstacle, Robot mobile, commande, ESP32.

## **Abstract:**

The primary goal of embedded systems is to merge the virtual world of computing with the physical world of electronics to ensure reliability, speed, and flexibility of real-world resources in real-time with minimal constraints. This project aims to develop a prototype of a robotic garden watering and obstacle avoidance system based on the ESP32 board, capable of irrigating plants in any environment. The work involves a comprehensive study of robotics theory, control mechanisms, ESP32 electronic boards, and C++ programming language. By the conclusion of this project, a functional garden watering robot device was designed and tested.

**Keywords:** Obstacle, mobil robot, Control, ESP32.

## **ملخص:**

الهدف الرئيسي لأنظمة النظم المضمنة هو دمج العالم الافتراضي للحوسبة مع العالم الفعلي للإلكترونيات لضمان الموثوقية والسرعة والمرونة لموارد العالم الحقيقي في الوقت الحقيقي مع أدنى القيود. يهدف هذا المشروع إلى تطوير نموذج أولي لنظام روبوتي لري الحدائق وتجنب العوائق قادر على ري النباتات في أي بيئة

يتضمن العمل دراسة شاملة لنظرية الروبوتات وآليات التحكم. ولغة البرمجة ولوحات الإلكترونيات

وبنهاية هذا المشروع، تم تصميم واختبار جهاز روبوتي لري الحدائق بشكل فعال.

**الكلمات الرئيسية :** تصميم نموذج أولي، روبوت، تحكم، ESP32