

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

UNIVERSITE MOULOUD MAMMARI DE TIZI-OUZOU



FACULTE DU GENIE ELECTRIQUE ET D'INFORMATIQUE
DEPARTEMENT D'ELECTRONIQUE

Mémoire de Fin d'Etudes De MASTER ACADEMIQUE

Domaine : **Sciences et Technologies**

Filière : **Electronique**

Spécialité : **Instrumentation**

Présenté par :

LANI Massiva

KEBIR Assia

Thème

**Mise en œuvre d'un robot mobile
pour la détection de fuites de gaz**

Mémoire soutenu publiquement le Mardi 25/06/ 2024 devant le jury composé de :

Mr LAHDIR. Mourad

Président

Mr ATTAF. Youcef

Examineur

Mme OUDJEMIA. Souad

Examinatrice

Mr IDJERI.Boussad

Encadreur

Mr HAMRANI.Ahmed

Co. Encadreur

Promotion : 2023/2024

REMIRCIEMENT

Nous souhaitons exprimer nos sincères remerciements au Tout-Puissant, source de miséricorde, pour nous avoir accordé la santé, le courage et la volonté à la réalisation de ce travail.

Tout d'abord, nous souhaitons témoigner notre plus sincère reconnaissance à notre promoteur, **Mr IDJERI Boussad**, enseignant à l'Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou. Nous le remercions vivement pour son accompagnement bienveillant et avisé, pour ses conseils judicieux et pour le temps précieux qu'il a consacré à nous guider durant l'élaboration de ce projet.

Nos remerciements vont également à **Mr. HAMRANI Ahmed**, notre encadreur à l'entreprise Sonelgaz, ainsi qu'à tous les ingénieurs qui nous ont accueillis et soutenus durant notre stage.

Nous exprimons notre reconnaissance envers l'ensemble du corps enseignant de l'UMMTO qui a contribué à notre réussite dans nos études. Nous n'oublions pas de remercier les membres du jury qui examineront notre travail avec attention et impartialité.

A nos chers parents, qui ont généreusement partagé leur temps et leurs compétences pour nous aider à atteindre nos objectifs, et dont le soutien indéfectible a été une source d'inspiration et d'encouragement tout au long de ce parcours.

Sans oublier de remercier tous ceux qui nous ont aidés et soutenus tout au long de l'élaboration de ce mémoire. Leur contribution a été indispensable à sa réalisation.

Dédicace

Je rends grâce, à Dieu le tout puissant de m'avoir donné la force, la volonté, l'intelligence et la sagesse d'être patient dans mes études.

De tout mon cœur, Je dédie ce modeste travail de fin d'étude

A mon très cher Père

Mon père « **ALI** », aucune dédicace ne saurait exprimer l'amour, l'estime, le dévouement et le respect que j'ai toujours pour vous. Rien au monde ne vaut les efforts fournis jour et nuit pour mon éducation et mon bien être. Ce travail est le fruit de tes sacrifices que tu as consentis pour mon éducation et ma formation le long de ces années. Merci mon cher père pour ton soutien, ton encouragement et ta confiance.

A ma chère Mère

Ma mère « **DJEDJIGA** », tu représentes pour moi la source de tendresse et l'exemple de dévouement qui n'a pas cessé de m'encourager. Quoi que je fasse ou que je dise, je ne saurai point te remercier comme il se doit. Ton affection me couvre, ta bienveillance me guide et ta présence à mes côtés a toujours été ma source de force pour affronter les différents obstacles. Ce modeste mémoire est le fruit de tes sacrifices et ton amour Maman. Merci pour tout maman, c'est toi la lumière de ma vie.

« Tout vos sacrifices, vos encouragements et vos soutiens, ont fait de moi ce que je suis aujourd'hui. Que le bon dieu vous accorder santé bonheur et longue vie, merci mes chers parents. »

A mes chers frères adorés : **JUGURTHA** et sa femme **MINA** ;

JUBA et **MISSIPSA** ;

A toutes ma famille ;

A tous mes amis (e) avec qui j'ai passé des années en or durant tout mon cursus universitaire et mon cher binôme et meilleure amie « **Assia** » ;

A toute la promotion électronique d'Instrumentation 2023/2024.

MASSIVA LANI

Dédicace

Je rends grâce, à Dieu le tout puissant de m'avoir donné la force, la volonté, l'intelligence et la sagesse d'être patient dans mes études.

De tout mon cœur, Je dédie ce modeste travail de fin d'étude

A mon très cher Père

Aucune dédicace ne saurait exprimer l'amour, l'estime, le dévouement et le respect que j'ai toujours pour vous. Rien au monde ne vaut les efforts fournis jour et nuit pour mon éducation et mon bien être. Ce travail est le fruit de tes sacrifices que tu as consentis pour mon éducation et ma formation le long de ces années.

A ma chère Mère

Tu représentes pour moi la source de tendresse et l'exemple de dévouement qui n'a pas cessé de m'encourager. Tu as fait plus qu'une mère puisse faire pour que son enfant suit le bon chemin dans sa vie et ses études. Ce modeste mémoire est le fruit de tes sacrifices Maman.

Que le bon dieu vous accorder santé bonheur et longue vie

A mon cher frère adoré : **Brahim** ;

A mes chères sœurs adorées ;

A toutes ma famille ;

A tous mes amis (e) avec qui j'ai passé des années en or durant tout mon cursus universitaire et mon cher binôme et meilleure amie « **Massiva** » ;

A toute la promotion électronique d'Instrumentation 2023/2024.

ASSIA KEBIR

Résumé

Ce projet concerne la conception et la réalisation d'un robot mobile à roues de type voiture, basé sur une carte ESP32 et une ESP32-CAM, destiné à la recherche de fuites de gaz. Le robot est équipé de quatre motoréducteurs reliés à la carte ESP32-CAM via le module L298N, ce qui lui permet de se déplacer dans quatre directions. Ce système est commandé manuellement via une interface Web développée sur un Smartphone connecté. Le robot est également équipé d'un capteur de gaz MQ-4, permettant ainsi à l'utilisateur de détecter les fuites de gaz sur le réseau de distribution sous terrain.

Abstract

This project concerns the design and production of a wheeled car-like mobile robot, based on an ESP32 board and an ESP32-CAM, for gas leak detection. The robot is equipped with four geared motors connected to the ESP32-CAM board via the L298N module, enabling it to move in four directions. This system is controlled manually via a web interface developed on a connected Smartphone. The robot is also equipped with an MQ-4 gas sensor, enabling the user to detect gas leaks in the underground distribution network.

Mots clés

Robot mobile.

Carte ESP32-CAM.

MQ-4.

ThingSpeak.

Interface web.

HTML.

Contrôle à distance.



Liste des abréviations

NASA: National Aeronautics and Space Administration.

LED: Light Emitting Diode.

USB: Universal Serial Bus.

UART: Universal Asynchronous Receiver / Transmitter.

DC: Courant Continue.

DMIPS: Dhrystone Million Instructions Per Second.

RAM: Random Access Memory.

SRAM: Static Random-Access Memory.

ROM: Read Only Memory.

PSRAM: Pseudo-Static Random-Access Memory.

VIN: Vehicle Identification Number.

GND: Ground.

GIOP: General Inter-ORB Protocol.

ADC: Analog to Digital Converter.

DAC: Digital Analog Converter.

PWM: Pulse Width Modulation.

SPI: Serial Peripheral Interface.

SCLK: Serial Clock.

I2C: Inter-Integrated Circuit.

MOS: Metal-Oxide-Semiconductor.

CMOS: Complementary Metal-Oxide Semiconductor.

VCC: Voltage at the Common Collector.

TTL: Transistor-Transistor Logic.

PIN: Personal Identification Number.

ENB: Evolved Node B.

IDE : Environnement de Développement intégré.

°C: Degré Celsius

HTML: HyperText Markup Language.

CSS: Cascading Style Sheets.

HTTP: Hypertext Transfer Protocol.



Listes de Figures

Chapitre I : Distribution de gaz naturel

Figure I.1: Schéma Récapitulatif du district.	5
Figure I.2: Réseau maillés.....	7
Figure I.3: Réseau Ramifié.	8
Figure I.4: Réseau mixte.	8
Figure I.5: Appareil à Ionisation de Flamme (AIF).	10
Figure I.6: La recherche systématique des fuites de gaz.	11
Figure I.7: Explosimètre.	12
Figure I.8: Catharomètre.	12
Figure I.9: Recherche d'une fuite de gaz.	12

Chapitre II : Généralités sur la Robotique

Figure II.1 : Schéma fonctionnel d'un capteur.	22
Figure II.2 : Exemple d'un robot industriel.	24
Figure II.3 : Robot Curiosity explore la planète Mars.	25
Figure II.4 : Robot à chenille.	26
Figure II.5 : Robots Marcheurs.....	27
Figure II.6 : Robots mobiles types rampants.	27
Figure II.7 : Robot de type unicycle.	28
Figure II.8 : Robot de type tricycle.....	29
Figure II.9 : Robot de type omnidirectionnel.....	29
Figure II.10 : Robot de type voiture.....	30
Figure II.11 : Quelques exemples d'application des robots mobiles.....	31

Chapitre III : Description de la partie matérielle et logicielle

Figure III.1 : Carte ESP32 de 38 broches.	33
Figure III.2 : Schéma de brochage de l'ESP32.....	35
Figure III.3 : Carte ESP32-CAM.....	37
Figure III.4 : Capteur d'image OV2640.	38
Figure III.5 : Composants de la carte ESP32-CAM.	39
Figure III.6 : Broches de la carte ESP32-CAM.....	40
Figure III.7 : Programmeur ESP32-CAM-MB.....	42
Figure III.8 : Capteur de gaz MQ-4.....	42
Figure III.9 : Buzzer actif.	44
Figure III.10 : Driver motor L298N.	45
Figure III.11 : Circuit du pont en H.....	47
Figure III.12 : Motoréducteur DC.	49
Figure III.13 : Principe de fonctionnement d'un moteur à courant continu.....	50
Figure III.14 : Support.	50
Figure III.15 : Interface de l'IDE.	51
Figure III.16 : La barre d'outils du logiciel Arduino.	52
Figure III.17 : Réseau wifi.....	52
Figure III.18 : L'internet des objets.....	53
Figure III.19 : Objet connecté.	53
Figure III.20 : Fonctionnement de l'IoT.....	54

Chapitre IV : Mise en œuvre du système de détection de gaz

Figure IV.1 : Schéma Synoptique de système.	55
Figure IV.2 : Schéma de réalisation du système sur Fritzing.	56

Figure IV.3 : Réalisation de Robot mobile.	57
Figure IV.4 : Réalisation de capteur de gaz MQ-4.	57
Figure IV.5 : Notre Robot mobile final.	58
Figure IV.6 : Exemple d'un document HTML.	59
Figure IV.7 : Interface Web html.....	60
Figure IV.8 : Interface de création d'un compte.	61
Figure IV.9 : Création du nouveau canal.	62
Figure IV.10 : Interface de création d'un canal.	62
Figure IV.11 : Obtenir L'API ThingSpeak.....	63
Figure IV.12 : Fonctionnement ESP32-CAM.	64
Figure IV.13 : Fonctionnement en mode manuel de Robot mobile.....	65
Figure IV.14 : Organigramme Esp32 et capteur de gaz.....	66
Figure IV.15 : Test de l'Esp32-Cam.	67
Figure IV.16 : Concentration de gaz méthane (CH ₄) en absence et en présence de fuite.....	68
Figure IV.17 : Courbe de concentration de gaz méthane (CH ₄)	68
Figure IV.18 : Robot avant activation de mode manuel.	70
Figure IV.19 : Test sur l'activation du mode manuel.....	71



Liste de Tableaux

Chapitre I : Distribution de gaz naturel

Tableau I.1 : Composition moyenne de gaz naturel.	4
Tableau I.2 : Limites d'inflammabilité de gaz.	4
Tableau I.3 : Entretien annuel des ouvrages gaz.	6

Chapitre II : Généralités sur la Robotique

Tableau II.1 : Comparaison des différents types de robots mobiles à roues.	31
Tableau II.2 : Domaines d'application de robots mobiles.	32

Chapitre III : Description de la partie matérielle et logicielle

Tableau III.1 : Broches de la carte ESP32	36
Tableau III.2 : Broches d'UART.....	36
Tableau III.3 : Broches pour les bus SPI.....	37
Tableau III.4 : Broches de la carte ESP32-Cam.....	41
Tableau III.5 : Branchement de la carte ESP32-Cam avec micro SD.....	41
Tableau III.6 : Différentes broches du module L298N.	46
Tableau III.7 : Table de vérité L298N.....	48

Chapitre IV : Mise en œuvre du système de détection de gaz

Tableau IV.1 : Les balises de langage html.	59
Tableau IV.2 : Les différentes mesures de concentration de gaz dans l'air.	69
Tableau IV.3 : Les boutons de contrôle de Robot mobile.	70



Sommaire

REMIRCIEMENT

Dédicace

Introduction. 1

Chapitre I : Distribution de gaz naturel

I.1 Préambule. 3

I.2 Propriétés des gaz distribués 3

I.2.1 Composition volumétrique..... 3

I.2.1.1 Gaz naturel 3

I.2.1.2 Limites d’inflammabilité 4

I.3 District gaz DBK..... 4

I.3.1 Exploitation des réseaux de distribution du gaz 4

I.4 Réseaux de Distribution Publique 6

I.4.1 Réseaux Moyennes Pressions MBP nouveaux Réseaux 7

I.4.2 Types des réseaux de distribution publique 7

I.4.2.1 Réseaux maillés 7

I.4.2.2 Réseaux ramifiés 7

I.4.2.3 Réseaux mixtes 8

I.5 Fuites de gaz 8

I.5.1 Causes principales des fuites 8

I.5.2 Dangers dus aux fuites 9

Sommaire

I.5.3 Découverte des fuites	9
I.5.4 Recherche de fuites	9
I.5.5 Recherche occasionnelle ou recherche non programmée	9
I.6 Recherche systématiques des fuites de gaz.....	10
I.6.1 Différentes phases du processus de la R.S.F	10
I.6.1.1 Détection	10
I.6.1.2 Localisation.....	10
I.6.1.3 Interprétation des résultats	11
I.6.2 Organisation de la Recherche systématiques des fuites	11
I.6.2.1 Rôle de l'équipe de recherche	11
I.6.2.2 Organisation de l'activité R.S. F	11
I.6.2.3 Mode opératoire	12
I.6.2.4 Périodicité	13
I.7 Prévention et sécurité gazière	16
I.7.1 Prescriptions de base.....	16
I.7.2 Ventilation des lieux de travail	17
I.7.2.1 Ventilation naturelle	17
I.7.2.2 Ventilation complémentaire	17
I.7.2.3 Ventilation forcée	17
I.7.3 Maîtrise de l'incendie d'origine gaz	17
I.7.4 Phénomènes électriques	18

Sommaire

I.7.4.1 Ouvrages métallique	18
I.7.4.2 Ouvrages en polythène.....	18
I.8 Consignes permanentes de sécurité	18
I.8.1 Présence de gaz dans les locaux.....	18
I.8.2 Présence du gaz à l'extérieur des locaux	19
I.8.3 Autres prescriptions générales	19
I.9 Discussion	20

Chapitre II : Généralités sur la Robotique

II.1 Préambule	21
II.2 Robotique	21
II.2.1 Robot	21
II.2.2 Composition d'un robot	21
II.2.2.1 Capteurs	21
II.2.2.2 Actionneurs	23
I.2.2.3 Contrôleur	23
II.2.2.4 Processeur	23
II.3 Types de robots.....	23
II.3.1 Robots industriels (manipulateurs)	24
I.3.2 Robots mobiles (Explorateurs)	24
I.3.2.1 classification des robots mobiles	25
II.3.2.2 Types de robots mobiles	26

Sommaire

a. Les robots mobiles à chenilles	26
b. Les robots mobiles marcheurs	26
c. robots mobiles rampants	27
d. Les robots mobiles à roues	27
d.1 Robot uni cycle	28
d.2 Robot Tricycle	28
d.3 Robot omnidirectionnel	29
d.4 Robot voiture quatre roues	29
II.4 Comparaison des différents types de robots mobiles à roues	30
II.5 Domaine d'application des robots mobiles	31
II.6 Discussion	32

Chapitre III : Description de la partie matérielle et logicielle

III.1 Préambule.....	33
III.2 Présentation du cahier des charges.....	33
III.3 Partie matérielle.....	33
III.3.1 Carte ESP32	33
III.3.1.1 Caractéristiques	34
III.3.1.2 Broches de l'ESP32.....	35
III.3.2 Carte ESP32-CAM AI-Thinker.....	37
III.3.2.1 Caractéristiques	38
III.3.2.2 Modules de l'ESP32-CAM	38

Sommaire

III.3.2.3 Broches de l'ESP32-CAM	39
III.3.2.4 Programmeur ESP32-CAM-MB	41
III.3.3 Capteur de gaz MQ-4	42
III.3.3.1 Caractéristiques	43
III.3.4 Buzzer Actif	44
III.3.4.1 Caractéristiques	44
III.3.5 Driver motor L298N	45
III.3.5.1 Caractéristiques	46
III.3.5.2 Pont en H	47
III.3.6 Moteur à courant continue(MCC)	48
III.3.6.2.1 Caractéristiques de motoréducteur	49
III.3.6.2 Principe de fonctionnement.....	49
III.3.7 Support	50
III.4 Partie Logiciel	51
III.4.1 Logiciel Arduino IDE.....	51
III.5 Réseau Wifi	52
III.6 Internet des objets (IOT)	52
III.6.1 Objets connectés	53
III.6.2 Fonctionnement de l'IoT	54
III.7 Discussion	54

Chapitre IV : Mise en œuvre du système de détection de gaz

IV.1 Préambule.....	55
IV.2 Mise en œuvre du Robot mobile	55
IV.3 Configuration HTML.....	58
IV.3.1 Création d'une interface Web avec logiciel Arduino.....	60
IV.4 Langage CSS.....	60
IV.5 ThingSpeak.	61
IV.5.1 Etapes pour utiliser ThingSpeak.	61
IV.6 Programmation.....	63
IV.7 Tests et résultats.....	67
IV.7.1 Test de visualisation de l'ESP32-CAM.	67
IV.7.2 Test de capteur de gaz MQ-4.	67
IV.7.3 Test mode manuel de Robot mobile	69
IV.8 Discussion.....	72
Conclusion et perspectives.....	73



Introduction

Introduction

Depuis bien longtemps, l'être humain rêve de créer des machines intelligentes capables d'effectuer des tâches à sa place. Ainsi, les humains auraient pris moins de risques pour accomplir des tâches dangereuses dans des endroits à risque. A cet effet, la robotique est définie comme l'ensemble des techniques permettant la conception et la réalisation de ces machines appelées « Robots », en faisant appel à des domaines multidisciplinaires l'électronique, l'informatique et la mécanique. C'est un axe de recherche qui vise à donner à un robot la capacité de se mouvoir dans un environnement sans assistance, ni intervention humaine. L'intérêt principal des robots mobiles est de permettre aux êtres humains d'effectuer des tâches dangereuses dans des milieux inaccessibles, ainsi que les domaines à risque tels que : le domaine militaire, l'exploration spatial, la recherche des fuites sur le réseau de gaz, les catastrophes naturelles...etc. Afin d'accomplir une tâche spécifique. Avec l'avènement de l'intelligence artificielle, la robotique n'a cessé de se développer et occuper une place importante dans le domaine industriel afin de réaliser des fonctions diverses le plus souvent répétitives, pénibles et périlleuses.

Dans ce contexte le travail présenté dans ce mémoire consiste à concevoir un prototype d'un robot mobile à roues de type voiture commandé à distance pour la recherche des fuites sur le réseau de distribution de gaz.

Pour accomplir cette tâche, nous avons utilisé une carte ESP32 qui collecte et traite les données issues du capteur de gaz MQ-4 détecteur de méthane (CH₄), une carte ESP32-CAM pour commander les moteurs à courant continu, un circuit de puissance L298N pour délivrer les signaux capables de les piloter et une caméra pour la surveillance du robot en temps réel.

Nous avons prévu d'effectuer un stage au niveau de la SONELGAZ-Distribution de Tizi-Ouzou, afin de mettre en pratique la capacité de notre robot mobile à détecter les fuites de gaz sous terraines, au niveau des réseaux de distribution. Devant les risques liés à l'exploitation des réseaux de distribution du gaz naturel par des opérateurs, nous allons tirer parfois des avancées technologiques, en ce qui concerne la robotique, afin de préserver la sécurité des personnes et des biens.

Dans le but d'atteindre notre objectif, nous avons organisé ce mémoire en quatre chapitres :

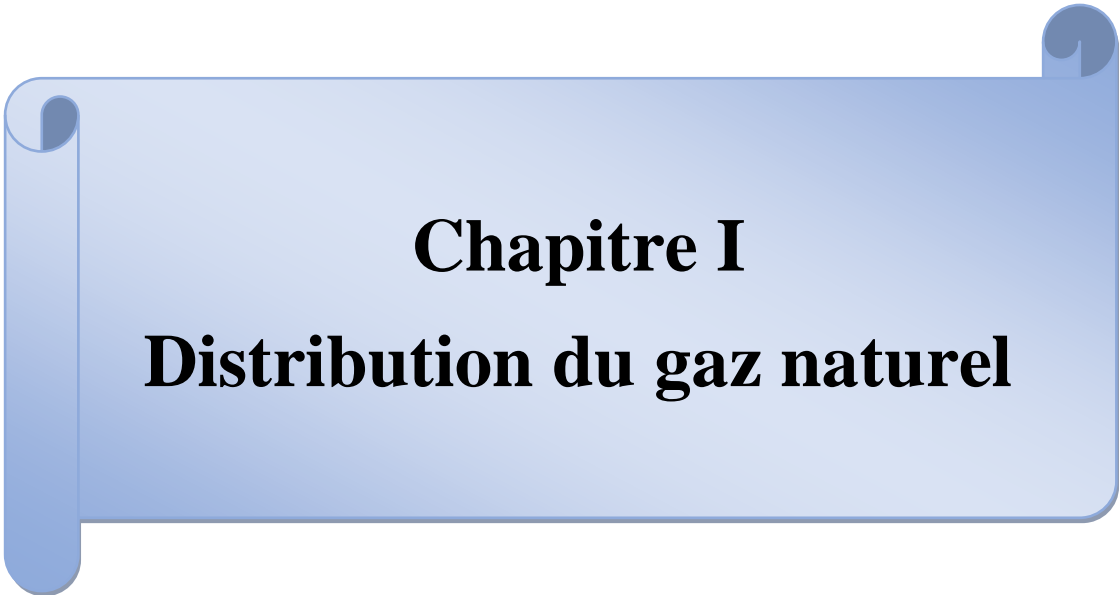
Le premier chapitre, est consacré à la présentation de la distribution de gaz naturel par canalisations, les risques liés à l'exploitation de ce dernier, ainsi que les opérations préventives et curatives qui y sont effectuées afin de garantir une gestion saine des ouvrages de distribution du gaz.

Dans le deuxième chapitre, nous avons donné les notions de base sur la robotique, les types de robots avec classifications et leurs domaines d'applications.

Le troisième chapitre présente la partie matérielle et la partie logicielle sur lesquels notre projet est basé.

Le quatrième chapitre est réservé aux différentes étapes suivies pour à la réalisation pratique du robot mobile.

Enfin nous terminons notre travail par une conclusion et quelques perspectives.



Chapitre I
Distribution du gaz naturel

I.1 Préambule

SONELGAZ acronyme de Société Nationale de l'Electricité et du Gaz, est une compagnie chargée de la production, du transport et de la distribution de l'électricité et ainsi que le transport et la distribution du gaz en Algérie. La société a été créée le 28 juillet 1969, en remplacement de l'entité précédente Électricité et Gaz d'Algérie (EGA), et on lui a donné un monopole de la distribution et de la vente de gaz naturel dans le pays, de même pour la production, la distribution, et l'exportation d'électricité.

Notre stage a été effectué pendant la période allant du 20 mars 2024 au 19 mai 2024, au niveau de la Direction de Distribution d'électricité et de gaz de Tizi-Ouzou. Dans Ce chapitre nous allons aborder le thème de la distribution de gaz naturel par canalisations, ainsi que les opérations préventives et curatives effectuées par les districts gaz, afin d'assurer la qualité et la continuité de service en toute sécurité, pour la préservation des personnes et des biens.

I.2 Propriétés des gaz distribués

I.2.1 Composition volumétrique

I.2.1.1 Gaz naturel

Le gaz naturel distribué est composé essentiellement de méthane. Une composition moyenne de gaz naturel de type Hassi R'mel et Adrar est donnée à titre indicatif ci - après :

Constituant	Formule	Hassi R'mel %Molaire	Adrar % Molaire
Azote	N ₂	6,15	2,30
Dioxyde de carbone	CO ₂	0,19	6,12
Méthane	CH ₄	85.10	88,31
Ethane	C ₂ H ₆	5,90	2,48
Propane	C ₃ H ₈	1,92	0,61

Isobutane	I-C4	0,24	0,06
N-butane	nC4	0,33	0,06
N-pentane	nC5	0,17	0,06

Tableau I.1: Composition moyenne de gaz naturel.

I.2.1.2 Limites d'inflammabilité

C'est la quantité de gaz combustible qui, mélangée à une quantité d'oxygène donnée, peut propager une flamme. Il existe une limite d'inflammabilité inférieure (L.I.I) et une limite d'inflammabilité supérieure (L.I.S).

Type de gaz	L.I.I. (%)	L.I.S. (%)
Gaz naturel	5,3	13,5
Propane commercial	2,2	9,5

Tableau I.2: Limites d'inflammabilité de gaz.

I.3 District gaz DBK

Le District gaz de DBK est l'un des seize (16) des districts gaz dont dispose la direction de distribution de Tizi-Ouzou.

Les principales tâches du district gaz :

- Gestion ressource humaine et moyens matériels au premier degré.
- Coordinations avec les services internes et externes.
- Exploitation des réseaux de distribution du gaz naturel par canalisations.

I.3.1 Exploitation des réseaux de distribution du gaz

- Entretien des ouvrages gaz (branchements, Vannes, colonnes montantes...etc.).
- Dépannage, réparation et interventions.
- Recensement des ouvrages gaz.
- Etudes pour la réalisation des branchements agence commerciales.

- Etudes pour la réalisation des extensions, déplacements de réseaux.
- Assistance pour des travaux tiers, traitements des réclamations.
- Mesures hivernales.
- Contrôle de la protection cathodique (anciens réseaux en acier).
- Recherche systématique des fuites.

L'objectif principal du district gaz est d'assurer la qualité et la continuité de service aux clients. Cependant, cette structure peut éventuellement proposer des travaux de remplacement (réseaux vétuste Acier et Cuivre), et renforcement du réseau existant via la réalisation de bouclages et redimensionnements. Pour ce faire, les éléments du district doivent avoir une connaissance parfaite des composantes du réseau relevant de leur secteur d'exploitation, à la fois statique et dynamique (réseau en constante évolution). Afin d'atteindre ces objectifs, la société met tous les moyens humains et matériels à disposition.

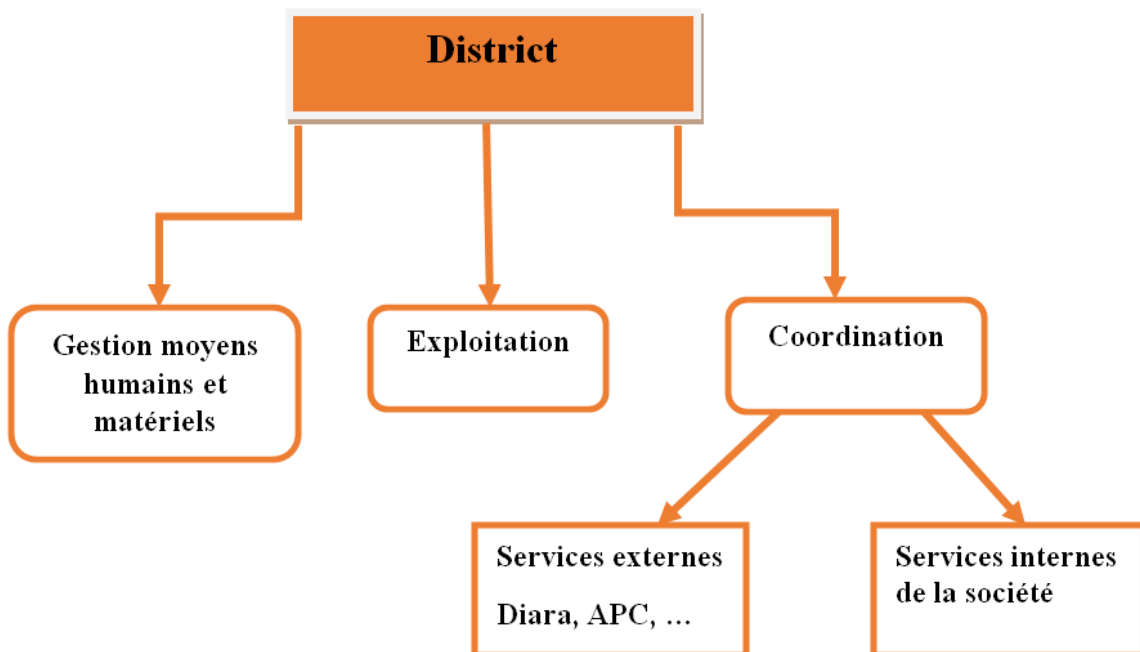


Figure I.1: Schéma Récapitulatif des activités du district.

A titre d'illustration, voici quelques chiffres des ouvrages entretenus par le district gaz DBK, (objectifs mensuels) :

Mois	Vannes			Protection-cathodique						
	Ac	Cu	PE	P-sout	P-pot	M-hiver	P-client	Brchts	C-M	AIF
Janv	3	0	57	4	16	7	3	804	130	140.0000
Fév	3	6	55	4	16	7	3	914	132	140.2531
mars	3	6	63	5	16	0	3	910	86	140.5262
Avril	2	7	59	4	16	0	1	910	79	142.8105
Mai	0	7	76	4	16	0	0	800	72	142.0000
Juin	0	0	77	5	16	0	0	800	58	146.8777
Juil	0	0	62	4	16	0	3	800	0	0.0000
Août	0	0	70	4	16	0	3	830	0	0.0000
Sept	0	0	73	5	16	0	4	826	29	0
Oct	0	0	71	4	16	0	0	813	53	0
Nov	0	0	78	4	16	0	0	810	116	0
Déc	0	0	53	5	16	7	2	768	106	0
Total	11	26	794	52	192	21	22	9985	861	852.4675

Tableau I.3: Entretien annuel des ouvrages gaz.

AC : ouvrages en acier (conduites et vannes)

Cu : ouvrages en cuivre (conduites et vannes)

PE : ouvrages en Polyéthylène (conduites et vannes)

P-sout : Poste de soutirage (redresseur). Il impose un courant de protection à partir d'une masse (anode : cas d'un rail) au profit de la conduite en acier (qui forme la cathode) afin d'éviter sa corrosion.

P-pot : prise de potentiel (permet de mesurer le potentiel de la conduite acier à protéger contre la corrosion)

M-hiver : mesures hivernales (elles consistent à la mesure de la pression aux bouts de réseaux gaz durant la saison hivernale, et permettent de faire un diagnostic du comportement du réseau de distribution durant les périodes de forte consommation)

P-clients : postes clients (clients dont la consommation moyenne dépasse les 50 m³/heure)

Brchts : branchements gaz

C-M : colonnes montantes

AIF : Recherche systématique des fuites à l'aide de l'Appareil à Ionisation de Flamme

I.4 Réseaux de Distribution Publique

Le réseau de distribution est celui qui dessert l'abonné en énergie gazière.

I.4.1 Réseaux Moyennes Pressions MBP nouveaux Réseaux

Assurent l'alimentation des abonnés à partir des canalisations moyenne pression, il n'existe plus de canalisations B.P (basse pression).

Pression en n'importe quel point du réseau MPB doit être comprise entre 0,4 et 4 bars il est évident de placer un détendeur à l'entrée des installations intérieures des abonnés.

Ce réseau permet de réaliser des conditions de desserte meilleures par rapport aux réseaux basse pression (anciens réseaux déclassés).

I.4.2 Types des réseaux de distribution publique

I.4.2.1 Réseaux maillés

Une maille est une conduite refermée sur elle-même. Le gaz injecté dans cette maille peut circuler dans un sens ou dans l'autre suivant les consommations.

Un réseau maillé est composé d'un certain nombre de mailles ou boucles juxtaposées.

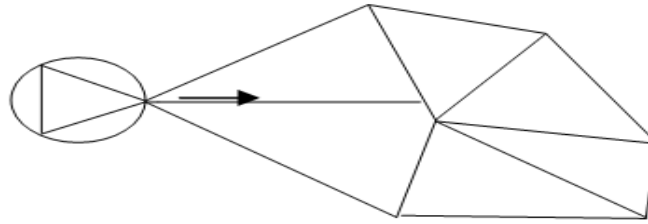


Figure I.2: Réseau maillés.

I.4.2.2 Réseaux ramifiés

Dans un réseau ramifié les conduites partent d'un point d'alimentation en rayonnant ou se ramifiant. Dans un tel réseau, le gaz circule toujours le même sens.

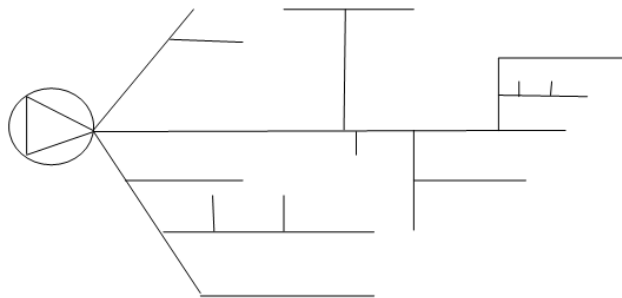


Figure I.3: Réseau Ramifié.

I.4.2.3 Réseaux mixtes

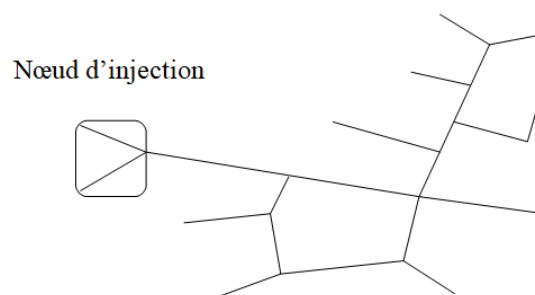


Figure I.4: Réseau mixte.

I.5 Fuites de gaz

Les fuites de gaz sont indésirables, car elles peuvent devenir dangereuses et présentent des risques d'accidents.

L'exploitation accorde la priorité à la prévention dans leurs programmes d'entretien, de plus la surveillance et la recherche des fuites de gaz constituent des opérations très importantes pour une saine gestion de l'exploitation d'un secteur donné.

I.5.1 Causes principales des fuites

Parmi les causes courantes on peut citer :

- ✓ Travaux effectués par des tiers.
- ✓ Affaissement de terrain.
- ✓ Corrosion.
- ✓ Autres cas (vannes, brides, filetages défectueux).

I.5.2 Dangers dus aux fuites

Les fuites de gaz sont et doivent être le souci majeur de tout exploitant des réseaux de distribution, car ce sont les principales sources d'accident.

- ✓ Risques incendie.
- ✓ Risques explosion.
- ✓ Risque de pollution atmosphérique.
- ✓ De plus elles sont couteuses.

I.5.3 Découverte des fuites

Les fuites de gaz peuvent se déceler :

- ✓ Par l'odeur.
- ✓ Par un sifflement.
- ✓ Par la coloration des terres et des dommages causés aux plantations.

I.5.4 Recherche de fuites

Cette recherche peut être occasionnelle ou systématique. Dans tous les cas, il faut la mener rapidement et méthodiquement.

I.5.5 Recherche occasionnelle ou recherche non programmée

Elle découle des mesures à prendre généralement suite à une réclamation.

Il faut toujours répondre à ces réclamations, et être prêt à se rendre sur place dans les plus brefs délais.

A tout moment de la journée ou de la nuit, l'équipe d'astreinte d'une exploitation comporte des agents permanents susceptibles par leur qualification, et leur mission reçue, d'effectuer une « mise hors gaz ».

Ces agents doivent pouvoir, dans un délai le plus bref, prendre possession de tout l'équipement nécessaire à l'opération dont ils doivent bien connaître le fonctionnement et la manière de s'en servir.

Sur place, une fois la présence de la fuite confirmée, les agents d'intervention procèdent, en premier lieu, à l'élimination du danger et à la sécurisation du site. La deuxième phase consiste à la prise en charge (réparation), dans les meilleurs délais possibles de la cause de la fuite.

I.6 Recherche systématiques des fuites de gaz

I.6.1 Différentes phases du processus de la R.S.F

La recherche systématique de fuites (R.S.F) se déroule en trois (3) phases :

I.6.1.1 Détection

C'est la recherche des fuites dues à des défauts d'étanchéité de la canalisation, elle s'effectue sans trous de sondage. Pour ce genre d'opération on utilise un appareil de détection qui est l'AIF (Appareil à Ionisation de Flamme), en parcourant l'ensemble de l'itinéraire du réseau gaz enterré.



Figure I.5: Appareil à Ionisation de Flamme (AIF).

I.6.1.2 Localisation

C'est la situation (position sur un tronçon donné) des fuites avec le maximum de précision possible. Elle s'effectue en perçant des trous de sondage sur les tronçons repérés par la première phase de détection. Pour ce genre d'opération on utilise un appareil de localisation dit Explosimètre, Catharomètre.

I.6.1.3 Interprétation des résultats

C'est suivant le résultat de la localisation qu'on peut décider de l'urgence de l'intervention.

Les fuites sont classées selon un degré de dangerosité ; variant de la nécessité d'une intervention immédiate à celles dont la réparation est à programmer ou à surveiller.

I.6.2 Organisation de la Recherche systématiques des fuites

I.6.2.1 Rôle de l'équipe de recherche

La recherche systématique des fuites participe à la connaissance dynamique des ouvrages, et constitue donc un acte d'exploitation. Elle est sous la responsabilité des chefs des districts gaz.



Figure I.6: Recherche systématique des fuites de gaz.

I.6.2.2 Organisation de l'activité R.S.F:

✓ Zone d'action

Chaque Direction de Distribution sera dotée d'au moins d'une équipe de recherche systématique de fuites domiciliée au siège de la direction, et plus récemment, les districts gaz ont été dotés d'appareils à Ionisation de Flamme ainsi que d'agents formés à cette fin.

En fonction des longueurs et des caractéristiques des réseaux, de l'éloignement des exploitations par rapport au lieu de rattachement de l'équipe, celle-ci doit couvrir le territoire de toute la Direction de Distribution.

✓ Moyens matériels

L'équipe est dotée :

- D'un véhicule.
- D'un appareil de détection.
- D'un appareil de localisation (Explosimètre, Catharomètre).
- Du matériel de piquetage (masse, piquet, ...).



Figure I.7: Explosimètre.



Figure I.8: Catharomètre.

I.6.2.3 Mode opératoire

➤ Préparation

L'itinéraire de l'équipe est établi et reporté sur le plan squelette à échelle (1/2000 ou 1/5000) de l'exploitation. Les points de départ et d'arrivée et le sens de la progression seront mentionnés sur le support précité.

➤ Détection

La détection consiste à rechercher les points ou les zones où le gaz se manifeste.

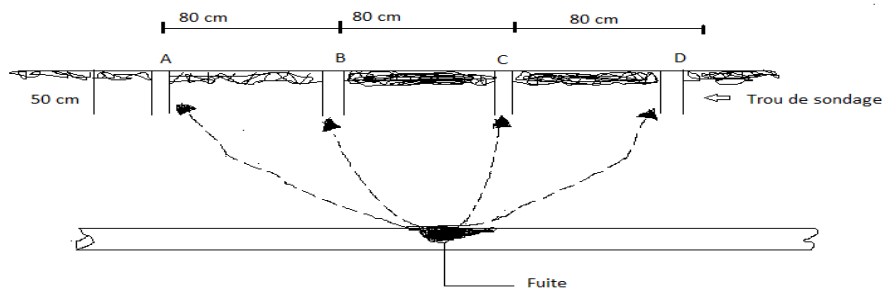


Figure I.9: Recherche d'une fuite de gaz.

➤ Interprétation des résultats

Les résultats de la détection-localisation sont reportés sur la fiche localisation de fuite (FLF) établie en deux exemplaires :

- Un exemplaire destiné à l'équipe R.S.F.

- Un exemplaire remis au District Gaz pour exploitation (réparation-surveillance). Les fiches sont reprises en fin de journée au responsable du District Gaz avec les indications suivantes :

- a) Emplacement de la (ou des) fuites.
- b) Description de l'environnement immédiat.
- c) Classification établie par l'équipe RSF.

Sur la base de ces indications, le chef du District Gaz décidera de la nature et du délai d'intervention, en fonction de son appréciation du degré d'urgence, en tenant compte :

1. De la situation du point de fuite.
2. De la nature et de la pression du gaz.
3. De la mesure de la concentration du gaz.

L'intervention doit être immédiate, et la réparation pourra être immédiate, différée mais définitive.

I.6.2.4 Périodicité

La cadence de recherche systématique de fuites pour un ouvrage déterminé, et à un moment donné, résulte de la connaissance :

- De caractéristiques fixes valables pour l'ensemble des réseaux et qui servent à déterminer la fréquence minimale.
- L'itinéraire emprunté par les ouvrages concernés (canalisations et branchements) est « Ratissé », et les points ou zones présumés fuyards sont repérés.
- Les points de sorties possible du gaz seront particulièrement contrôlés : bouches d'égouts, tampons de chaussée, regards de PPT, candélabres, ... etc.

Pour le cas de fuites drainées, la détection doit être poussée (agrandir le champ de recherche).

- **Localisation**

La localisation est effectuée à l'endroit de l'ouvrage où la portion d'ouvrage signalé comme fuyard :

- Des trous de sondage (piquetage), sont réalisés tous les 80cm à l'aplomb de la canalisation ou du branchement. Leur profondeur ne doit pas excéder 50cm.
- Un temps de stabilisation de 10 à 15 mn doit permettre d'aérer d'éventuelles « poches de gaz ».
- La mesure du pourcentage de gaz est effectuée par prélèvement du mélange air-gaz contenu dans les trous de sondage au moyen de l'explosimètre-catharomètre.
- Après le temps de stabilisation, les prélèvements aux points A et D indiqueront un pourcentage de gaz relativement nul.
- Le pourcentage de gaz le plus élevé sera obtenu au point situé au plus près de la fuite (point B).
- Les caractéristiques variables propres à un ouvrage donné, peuvent motiver l'exploitant pour augmenter la fréquence. (Cas des anciens ouvrages en acier et en cuivre).

La fréquence minimum de passage est fixée à une fois par an pour les réseaux MBP.

En situation normale, la période entre deux passages consécutifs d'un ouvrage donné, ne doit pas être inférieur à dix mois pour les réseaux MBP.

En fonction de la connaissance des ouvrages placés sous sa responsabilité, l'exploitant pourra déterminer d'autres fréquences qu'il estime nécessaire de respecter :

- Pour une exploitation ou un secteur d'exploitation donné.
- Et à un moment donné.

Ces périodicités différentes peuvent être justifiées par certaines circonstances défavorables liées, par exemple, à de mauvaises conditions de pose ou d'exploitation

(courants vagabonds, risque connu de fissures sur canalisation : mouvement de terrain, voies à forte circulation par exemple).

Des recherches systématiques peuvent aussi être provoquées par des événements particuliers intervenant dans la vie de l'exploitation, par exemple : accroissement de pression, surpression accidentelle importante, phénomène de corrosion généralisée etc....).

- **Intervention immédiate (classe I)**

Les fuites entrant dans un tel classement font l'objet, rapidement, d'une investigation sur place, conduisant à une prise de décision qui peut être soit une ouverture immédiate de la fouille, soit le report du cas considéré dans les classes II et III.

- **Réparation à programmer (classe II)**

Cette classe caractérise les fuites estimées non dangereuses, soit après localisation et interprétation (puisque exclues de la classe I), soit après intervention immédiate (classe I), mais dont les caractéristiques sont telles que l'éventualité du risque futur n'est pas à négliger. Ces fuites sont inscrites dans un programme visant à les supprimer.

La gravité d'une fuite et la physionomie d'un ensemble de fuites font que l'échéance de l'intervention peut, selon les cas, être prévue différemment. C'est pourquoi, dans cette attente, les fuites à éliminer doivent faire l'objet d'une surveillance.

Il est souvent nécessaire qu'avant toute décision de réparation, une nouvelle mesure soit effectuée dans les jours qui suivent, afin de vérifier les teneurs existantes après ventilation du sous-sol.

- **Pas d'intervention - Surveillance périodique (classe III)**

Cette classe concerne les fuites qui, en raison de leurs caractéristiques et de leur situation, ne présentent aucun danger pour les personnes et les biens et n'appellent pas une programmation de leur suppression. Néanmoins leur évolution est à contrôler à l'occasion des recherches systématiques effectuées dans leur zone.

I.7 Prévention et sécurité gazière

I.7.1 Prescriptions de base

Le gaz présente des risques d'inflammation, d'explosion et d'asphyxie.

Les travaux exécutés sur des ouvrages ou à proximité, ne présentent aucun danger lorsque les règles de sécurité sont observées.

Ces prescriptions constituent des règles impératives pour tous les agents et, en particulier, pour le responsable exploitant. En dehors des agents de la SONELGAZ-Distribution, habilités à effectuer des opérations d'ordre gazier, aucun agent d'une entreprise externe ne peut intervenir, s'il n'est pas qualifié par son employeur.

SONELGAZ-Distribution, par voie contractuelle, impose aux entreprises sous-traitantes le respect strict des prescriptions de prévention et de sécurité gazière.

La zone de travail doit être délimitée et matérialisée par une signalisation visible (cordages, barrières, panneaux, cônes, balises...)

L'étendue de cette zone doit tenir compte de la nature des ouvrages, de l'importance des travaux, de la pression du gaz et de l'environnement.

A toute zone de travail correspondent, soit :

- Des points d'intervention de sécurité ;
- Des mesures de sécurité particulières à prendre, en cas d'incident, quand il n'est pas possible de disposer des points d'intervention de sécurité.

Pour certains travaux (travaux en charge avec dégagement de gaz), la désignation de d'intervention de sécurité est nécessaire.

Aucun travail sur un ouvrage gaz, pouvant donner lieu à un dégagement incontrôlable de gaz ne peut être effectué par un agent seul. En conséquence, un agent placé au moins à l'extérieur, l'assistera et veillera à sa sécurité.

Chaque fois qu'il y a présence de gaz ou possibilité de dégagement incontrôlable de gaz, il faut :

- Supprimer, préalablement, dans la zone de travail, toute source d'inflammation existante ou potentielle.
- Interdire de fumer ou de provoquer, par un moyen quelconque, une incandescence, des étincelles ou un échauffement.

Le contrôle de l'étanchéité et de la localisation de fuites doit être effectuée dans tous les cas.

I.7.2 Ventilation des lieux de travail

I.7.2.1 Ventilation naturelle

Les locaux, les fosses, les gaines techniques et les postes où s'effectuent des travaux sur des appareils ou des installations contenant du gaz, doivent être ventilés au maximum par toutes les ouvertures possibles.

I.7.2.2 Ventilation complémentaire

Lorsque la ventilation naturelle n'est pas suffisante, une ventilation complémentaire doit l'assister.

I.7.2.3 Ventilation forcée

Lorsque des travaux sont à exécuter dans tranchées, une ventilation forcée doit être mise œuvre chaque fois que nécessaire notamment dans le cas des gaz lourds.

I.7.3 Maîtrise de l'incendie d'origine gaz

Tout chantier pouvant comporter un risque d'incendie doit disposer, à proximité immédiate, des moyens d'extinction du feu.

Dans le cas d'inflammation de gaz, la surveillance jusqu'à extinction et refroidissement complet des parties chauffées doit être maintenue.

L'extinction peut être obtenue :

- Soit par fermeture des robinets.
- Soit par écrasement du tube (cas des conduites en polyéthylène).

I.7.4 Phénomènes électriques

Les phénomènes électriques sur les ouvrages gaz peuvent avoir des origines diverses tels qu'un contact avec un conducteur électriques, électricité statique, protection cathodique, courant vagabond, courant induit et phénomène atmosphérique.

I.7.4.1 Ouvrages métallique

Au préalable, il faut shunter par un conducteur approprié, lors du sectionnement d'une canalisation, y compris celle d'un branchement et en cas de pose ou de dépose :

- D'un appareil susceptible d'être soumis à des phénomènes électriques.
- D'un élément de canalisation.
- D'un compteur dans un lieu où des phénomènes électriques parasites sont manifestement connus.

I.7.4.2 Ouvrages en polythène

En cas de sectionnement d'une canalisation ou d'un branchement polyéthylène, une mise à la terre est nécessaire.

I.8 Consignes permanentes de sécurité

I.8.1 Présence de gaz dans les locaux

S'il y a présence de gaz dans les locaux ou à leur proximité immédiate, il est formellement interdit :

- De fumer, d'allumer des appareils à flamme ou des foyers à incandescence.
- De manœuvrer un interrupteur électrique.
- De brancher ou débrancher une prise de courant.
- D'appuyer sur le bouton de sonnerie.
- De décrocher le combiné téléphonique même dans le cas où l'appareil sonne.

En cas de risque d'étincelle électrique intempestive (réenclenchement automatique d'une coupure de l'alimentation en électricité du local.

Il convient ensuite de :

- Aérer, ventiler et contrôler l'atmosphère.
- Evacuer la zone dangereuse.

I.8.2 Présence du gaz à l'extérieur des locaux

Il convient dans ce cas :

- D'interdire de fumer, de provoquer des étincelles, d'allumer des appareils à flammes ou des foyers à incandescence.
- D'éteindre ou d'éloigner les foyers incandescents existants.
- De détecter et localiser la fuite et délimiter la zone concernée.
- De demander la coupure de l'alimentation en électricité des locaux riverains.
- D'interdire, en cas de nécessité, toute circulation de véhicule.

Pour engager les travaux de réparation, il y a lieu de prendre les dispositions suivantes :

- Prohiber l'usage d'outils portatifs, actionnés par moteurs électriques.
- Pour tous travaux de terrassement à proximité de la fuite, arroser abondamment le terrain et ouvrir des fouilles de ventilation.
- Après l'intervention, garder le chantier en cas d'interruption provisoire des travaux tant qu'un risque de fuite subsiste.

I.8.3 Autres prescriptions générales

➤ Balisage et signalisation de chantiers

Les règles de signalisation de chantiers font partie « des règles de signalisation temporaire des routes ».

Ces règles sont définies par arrêtés et instructions interministérielles.

Le balisage doit être constitué conformément aux règlements en vigueur, notamment par :

- Une signalisation avancée, une signalisation de position à proximité du point dangereux.

Le chantier doit être signalé par un balisage lumineux pendant la nuit.

I.9 Discussion

Nous avons abordé dans ce chapitre quelques notions de base concernant la distribution du gaz naturel par canalisation, où la détection et la localisation des fuites constituent des activités d'importance majeure dans l'exploitation des réseaux de distribution. D'où l'intérêt d'avoir accès à des technologies, permettant aux exploitants d'accomplir cette tâche en toute sécurité, vu que cette dernière peut s'avérer pénible et parfois risquée. A cette fin, nous avons opté pour l'utilisation d'un robot mobile, guidé à distance et capable de détecter les fuites de gaz et transmettre, en temps réel, les informations récoltées à un opérateur qualifié pour analyse.



Chapitre II
Généralités sur la
Robotique

II.1 Préambule

La robotique qui est un domaine de recherche révolutionnaire qui requiert des connaissances multidisciplinaires. Son objectif est de permettre au robot d'interagir avec son environnement extérieur sans intervention humaine. L'exploitation des robots mobiles ouvre la voie à des champs d'applications dans de nombreux domaines telles que l'industrie, la sécurité et l'exploration spatiale ... etc.

L'aspect particulier de la mobilité impose une certaine coordination méthodologique entre les différentes parties constitutives du robot tel que le traitement des informations et leur exploitation pour la prise de décisions. L'enjeu principal est de concevoir des robots autonomes afin de répondre de façon appropriée dans des environnements peu connus. Dans cette optique, les paragraphes qui vont suivre portent sur les notions de base de la robotique et les défis auxquels elle est confrontée afin de les surpasser.

II.2 Robotique

La robotique est l'ensemble des techniques permettant la conception, la réalisation de machines automatiques afin de remplir certaines fonctions bien définies, dans le but d'augmenter le rendement tout en améliorant le confort.

II.2.1 Robot

Un robot est un appareil automatique capable de manipuler des objets et d'exécuter des tâches particulières selon un programme bien défini, faisant appel à l'électronique, la mécanique et l'informatique [1]. Avec le développement de l'intelligence artificielle, les robots occupent des places de plus en plus importantes.

II.2.2 Composition d'un robot

Un robot est composé de parties mécaniques et électroniques, qui sont contrôlées par un microprocesseur dont les éléments essentiels sont :

II.2.2.1 Capteurs

Les capteurs servent à collecter des données sur l'environnement extérieur du robot afin de prendre des décisions. Comme chez l'humain, le système de contrôle du robot doit

connaître à chaque instant toutes les informations nécessaires afin de déterminer la tâche à exécuter. Tout comme les principaux sens de la vue, du toucher, de l'ouïe, du goût et de la parole, le robot est équipé de dispositifs de détection externes tels qu'un système de vision, des capteurs tactiles, un synthétiseur vocal grâce auxquels il va communiquer avec le monde extérieur [2].

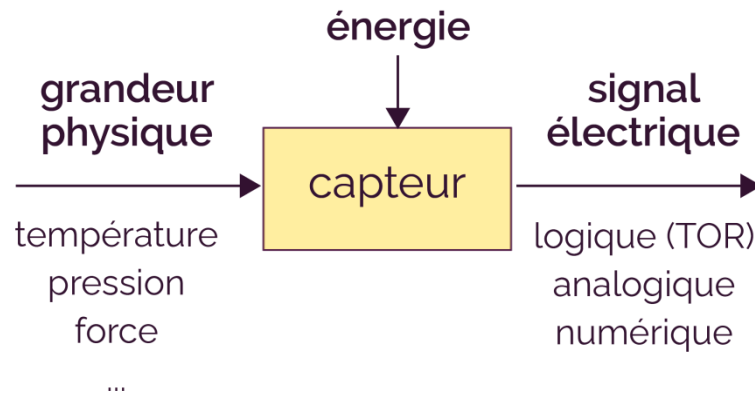


Figure II.1 : Schéma fonctionnel d'un capteur.

Selon la nature de l'information délivrée (signal de sortie), on peut distinguer trois familles de capteurs :

✓ **Capteur Analogique**

Un capteur analogique convertit un signal de grandeur physique en un signal de grandeur électrique, généralement sous forme d'une sortie de tension ou courant.

✓ **Capteur Numérique**

Un capteur numérique produit une sortie numérique c'est-à-dire une série de valeurs discrètes, cette sortie peut être traitée par des systèmes numériques tels que des microcontrôleurs, des ordinateurs...etc.

Les signaux délivrés par les capteurs numériques peuvent être du type :

- Train d'impulsions avec une fréquence précise.
- Code numérique binaire.

✓ **Capteur Logique (TOR)**

Un capteur TOR (Tout Ou Rien) permet de détecter un événement ou un objet lié au fonctionnement du système technique tels que la présence ou l'absence des certains objets.

Le signal électrique en sortie de ce capteur ne délivrant que deux niveaux logiques, représentés par « 0 » pour bas et « 1 » pour haut.

II.2.2.2 Actionneurs

Un actionneur est un outil qui transforme l'énergie reçue en mouvement physique afin d'accomplir des tâches précises. Dans les définitions de l'automatisme, l'actionneur appartient à la partie opérative.

Les actionneurs peuvent être de différents types tels que des servomoteurs, des moteurs électriques, des vérins pneumatique et hydraulique ... etc.

II.2.2.3 Contrôleur

Un contrôleur est un élément essentiel qui agit comme le "cerveau" du robot, gérant son fonctionnement. Il reçoit les données de l'ordinateur (le cerveau du système) et assure la commande avec la coordination des mouvements des actionneurs selon des données délivrées par les capteurs.

II.2.2.4 Processeur

Le processeur est le cerveau du robot. Il assure la coordination des mouvements articulés du robot, tout en évaluant la vitesse de déplacement de chaque joint pour atteindre l'emplacement souhaité. Dans certains systèmes, le contrôleur et le processeur sont intégrés ensemble en une seule unité, et dans d'autres cas, ce sont des unités séparées [2].

II.3 Types de robots

Il existe deux catégories de robots notamment les robots industriels et les robots mobiles.

II.3.1 Robots Industriels (Manipulateurs)

Les robots industriels sont les premiers à avoir été produits en grand nombre. Ils se trouvent plus particulièrement sur les chaînes de montage, La majorité de ces robots sont à base fixe. Quand ce n'est pas le cas, ils sont généralement montés sur des rails.

Un robot industriel se présente sous forme d'un bras doté d'un certain nombre de segments articulés. Il est conçu pour manipuler ou déplacer des matériaux, outils et pièces sans contact humain direct. Ils sont utilisés dans des applications industrielles pour effectuer efficacement des tâches telles que l'assemblage, soudage, traitement de surface, et le forage.

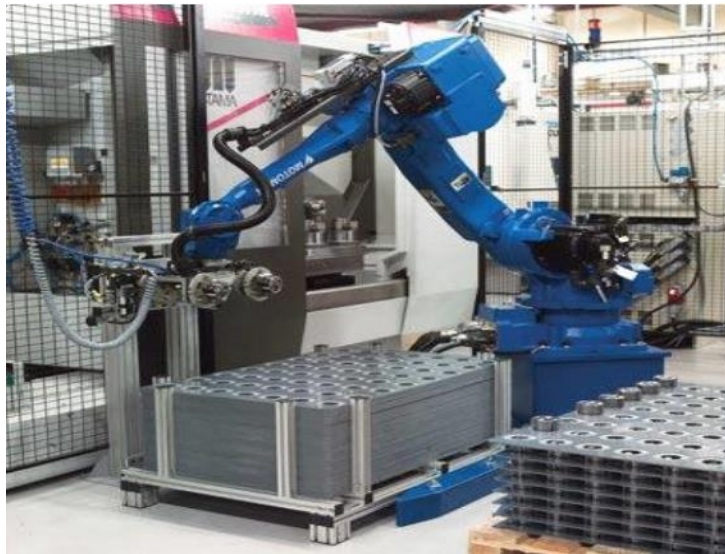


Figure II.2 : Exemple d'un robot industriel.

II.3.2 Robots mobiles (Explorateurs)

De manière générale, on regroupe sous l'appellation « robot mobile » l'ensemble des robots à base de mobilité par opposition aux robots manipulateurs qui sont fixes.

Les robots explorateurs sont utilisés pour explorer des environnements inaccessibles à l'homme, ils sont aussi appelés des rovers du fait de leurs fonctionnalités principales qui est l'exploration. Le plus connu est le robot Curiosity (Figure II.3) qui a été envoyé par la NASA sur la planète Mars pour explorer et identifier le terrain martien.

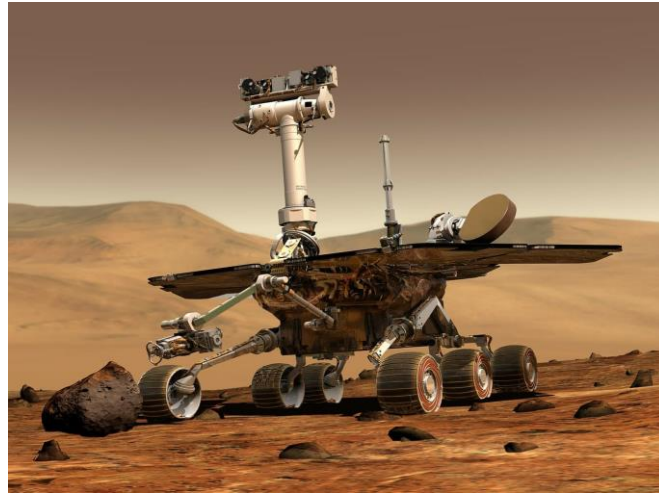


Figure II.3 : Robot Curiosity explore la planète Mars [3].

Un robot mobile, est un véhicule doté de moyens de locomotion qui lui permettent de se déplacer dans son environnement d'une manière autonome, il est équipé de capteurs, d'actionneurs et d'un système de contrôle pour naviguer, éviter les obstacles et accomplir des tâches spécifiques. Il s'agit d'un sous-domaine de la robotique et de l'ingénierie de l'information.

II.3.2.1 Classification des robots mobiles

La classification des robots mobiles se fait selon plusieurs critères (degré d'autonomie, système de locomotion, énergie utilisée ...etc.). La classification la plus utilisée est faite selon leur degré d'autonomie.

Un robot mobile autonome est un système automoteur doté de capacités décisionnelles et de moyens d'acquisition et de traitement de l'information qui lui permettent d'accomplir sous contrôle humain réduit, un certain nombre de tâches, dans un environnement peu connu [4].

On peut citer quelques types :

- Véhicule télécommandé par un opérateur qui lui impose chaque tâche élémentaire à réaliser [5].
- Véhicule télécommandé au sens de la tâche à réaliser où les actions sont contrôlées automatiquement [5].
- Véhicule semi-autonome réalisant sans l'aide de l'opérateur des tâches prédéfinies [5].

- Véhicule autonome qui réalise des tâches semi-définies. Ce type de véhicule pose des problèmes d'un niveau de complexité élevé de représentation des connaissances, de capacité décisionnelle et de génération de plans qui sont résolus à bord dans la mesure du possible [5].

Les défis majeurs auxquels est confrontée la robotique lors de la conception de tels robots sont :

1. L'élaboration de la mobilité mécanique.
2. La détermination de la position et de l'orientation.
3. Le choix du chemin optimal.

II.3.2.2 Types de robots mobiles

On peut dénombrer quatre types de structures mécaniques assurant la motricité.

a. Robots mobiles à chenilles

Ils sont robustes et présentent une bonne adhérence au sol, leur utilisation est orientée vers l'emploi sur sol accidenté ou de mauvaise qualité au niveau de l'adhérence (présence de boue, herbe...) [6]. Généralement ils sont utilisés à des fins militaires principalement comme robots de surveillance ou de démineurs.



Figure II.4 : Robot à chenille.

b. Robots mobiles marcheurs

Les robots mobiles marcheurs sont destinés à réaliser des tâches variées dont l'accès au site est difficile, dangereux ou impossible à l'homme. Leur anatomie présente de nombreux degrés de liberté permettant un rapprochement avec les robots manipulateurs [6].

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.



Figure II.5 : Robots Marcheurs [6].

c. Robots mobiles rampants

La reptation est une solution de locomotion pour un environnement de type « tunnel » qui conduit à réaliser des structures filiformes. Le système est composé d'un ensemble de module ayant chacun plusieurs mobilités. Dans ce type de robot, les techniques utilisées découlent des méthodes de locomotion des serpents.



Figure II.6 : Robots mobiles types rampants.

d. Robots mobiles à roues

La mobilité par roues est la structure mécanique la plus utilisée en robotique mobile. Ce type de robot assure un déplacement aisé, mais nécessite un sol relativement plat. Il existe plusieurs types de robots à roues, principalement en fonction de la position et du nombre de roues utilisées. Nous citerons ici les quatre classes principales de robots à roues :

d.1 Robot unicycle

Un robot de type unicycle est actionné soit par une seule ou deux roues indépendantes. On utilise des capteurs d'altitude et de déplacement pour assurer sa stabilité. Son centre de rotation est situé sur l'axe reliant les deux roues motrices.

C'est un robot non-holonome, en effet il est impossible de le déplacer dans une direction perpendiculaire aux roues de locomotion. 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 [7].

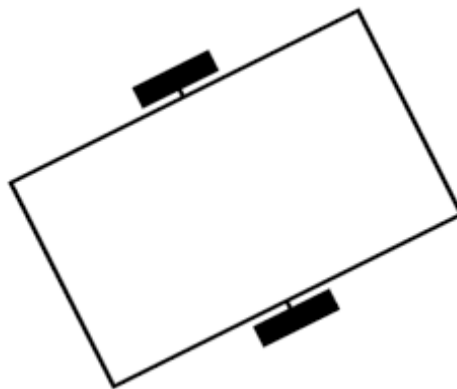


Figure II.7 : Robot de type unicycle [7].

d.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. Son centre de rotation est situé à l'intersection de l'axe contenant les roues fixes et de l'axe de la roue orientable. C'est un robot non-holonome. En effet, il est impossible de le déplacer dans une direction perpendiculaire aux roues fixes [7].

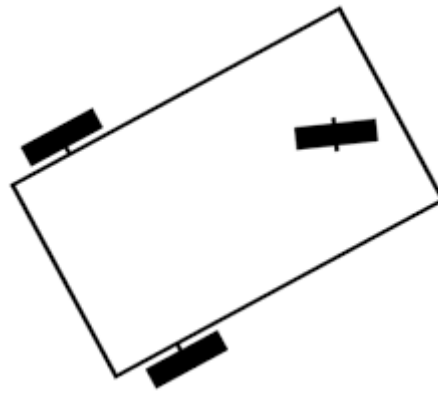


Figure II.8 : Robot de type tricycle [7].

d.3 Robot omnidirectionnel

Un robot mobile est dit omnidirectionnel si l'on peut agir indépendamment sur les vitesses : vitesse de translation selon les axes X et Y et vitesse de rotation autour de Z .

Un robot omnidirectionnel est un robot qui peut se déplacer librement dans toutes les directions. Il est généralement constitué de trois roues décentrées orientables placées en triangle équilatéral. L'énorme avantage de ce robot est qu'il est holonome puisqu'il peut se déplacer dans toutes les directions. Mais ceci se fait au dépend d'une complexité mécanique bien plus grande [6].

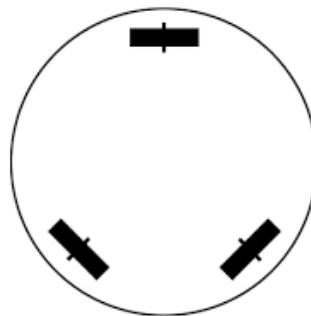


Figure II.9 : Robot de type omnidirectionnel [6].

d.4 Robot voiture quatre roues

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. Le robot de type voiture est cependant plus stable puisqu'il possède un point d'appui supplémentaire. Toutes les autres propriétés du robot voiture sont identiques au robot tricycle, le deuxième axe pouvant être ramené au premier en remplaçant les deux roues avant

par une seule placée au centre de l'axe, et ceci de manière à laisser le centre de rotation inchangé [6].

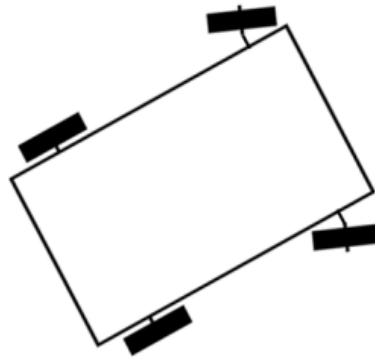


Figure II.10 : Robot de type voiture [6].

II.4 Comparaison des différents types de robots mobiles à roues

Nous pouvons résumer les avantages et les inconvénients des différents types de robots à roues dans le tableau ci-dessous [7] [2].

Type de robot	Avantages	Inconvénients
Robot unicycle	Stable. Rotation sur soi-même. Complexité mécanique faible.	Non-holonyme.
Robot tricycle	Complexité mécanique modérée.	Non-holonyme. Peu stable. Pas de rotation sur soi-même.
Robot omnidirectionnel	Holonyme. Stable. Rotation sur soi-même.	Complexité mécanique importante.

Robot voiture	Stable. Complexité modérée.	mécanique.	Non-holonome. Pas de rotation sur soi-même.
----------------------	--------------------------------	------------	--

Tableau II.1 : Comparaison des différents types de robots mobiles à roues.

II.5 Domaine d'application des robots mobiles

Le domaine d'application des robots mobiles est vaste, nous présentons quelques applications dans sur la figure (II.11) et sur le tableau (II.2) [8].

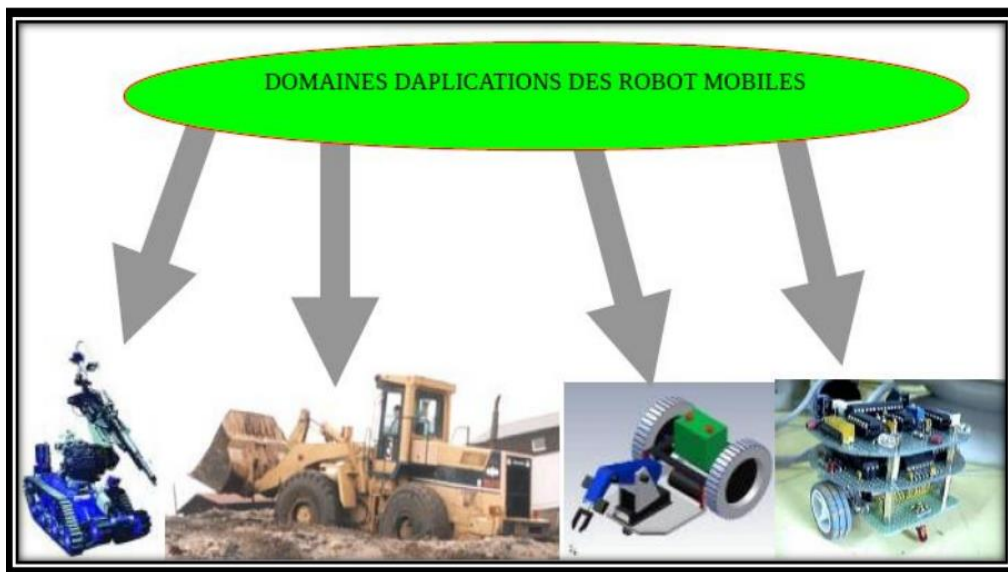


Figure II.11 : Quelques exemples d'application des robots mobiles.

Domaines	Applications
Industrie nucléaire	Surveillance de sites. Manipulation de matériaux radioactifs. Démantèlement de centrales.
Sécurité civile	Neutralisation d'activité terroriste. Déminage. Pose d'explosif. Surveillance de munitions.

Chimique	Surveillance de site. Manipulation de matériaux toxiques.
Mine	Assistance d'urgence.
Agricole	Cueillette de fruits. Traite, moisson, traitement des vignes.
Nettoyage	Coque de navire. Nettoyage industriel.
Espace	Exploration.
Industrie	Convoyage. Surveillance.
Sous-marine	Pose de câbles. Cherche de modules. Cherche de navires immergés. Inspection des fonds marins.
Militaire	Surveillance. Pose d'explosif. Manipulation de munitions.

Tableau II.2 : Domaines d'application de robots mobiles.

II.6 Discussion

Dans ce chapitre, nous avons présenté les notions de base de la robotique et détaillé les différents types de robots et leurs domaines d'applications. Ceci nous permettra de mieux situer le contexte de notre projet et l'intérêt de notre travail, qui représente un prototype d'un robot mobile pour la détection de fuites de gaz sur le réseau de distribution du gaz naturel. Dans le chapitre suivant nous allons faire une présentation des parties matérielle et logicielle de notre robot mobile.

Chapitre III

Description de la partie matérielle et logicielle

III.1 Préambule

Dans ce chapitre nous allons présenter le cahier des charges à remplir et les différentes parties matérielles et logicielles nécessaires pour l'élaboration du robot.

III.2 Présentation du cahier des charges

L'objectif de notre travail consiste à réaliser un robot mobile à roues de type voiture. Ce système va fonctionner en mode manuel permettant à l'utilisateur le contrôle à distance via une interface Web sur un Smartphone connecté.

III.3 Partie matérielle

III.3.1 Carte ESP32

L'ESP32 est une série de microcontrôleurs à faible coût et à faible consommation d'énergie sur puce avec Wifi intégré et Bluetooth bi-mode. Elle est équipée d'un microprocesseur Tensilica Xtensa LX6 dans des variantes à double cœur et à cœur unique et comprend des commutateurs d'antenne intégrés, un amplificateur de puissance, un amplificateur de réception à faible bruit, des filtres et des modules de gestion de l'alimentation [9]. Il y a plusieurs versions d'ESP32, dans notre projet nous avons opté pour le module DevKitC ESP32 38 broches (Figure III.1).

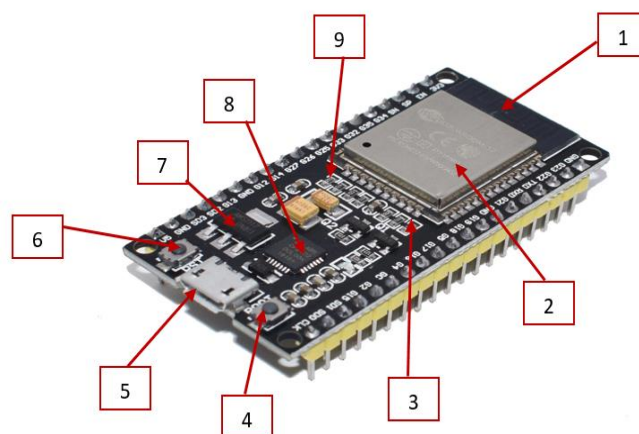


Figure III.1 : Carte ESP32 de 38 broches [10].

Elle est constituée de :

1 : Antenne 2.4 GHz.

2 : La puce ESP-WORM-32.

3 : LED.

4 : Bouton BOOT est le bouton de téléchargement utilisé lors du téléchargement du nouveau programme.

5 : USB MicroB : le connecteur USB Micro intégré est utilisé pour programmer la puce ESP32 et pour alimenter la carte avec 5 volts.

6 : Bouton EN/Reset utilisé pour réinitialiser la puce ESP-WORM-32.

7 : Régulateur de tension est utilisé pour maintenir une tension constante de 3,3 volts. Il peut fournir jusqu'à 600 mA.

8 : Pont USB - UART : permet à votre ordinateur de programmer et de communiquer avec la puce ESP32.

III.3.1.1 Caractéristiques

- Microprocesseur : Tensilica Xtensa LX6 32 bits.
- Wifi intégrée : La fréquence 2.4 GHz + la vitesse de transmission peut aller jusqu'à 150 Mbits / s + La norme 802.11b / g / n.
- Bluetooth: double bande, BLE (Bluetooth Low Energy) et Bluetooth classique.
- Tension d'alimentation (USB) : 5 V DC, Tension d'entrées/sorties : 3,3 V DC.
- La fréquence d'horloge : peut aller jusqu'à 240 MHz, puissance de calcul jusqu'à 600 DMIPS.
- RAM : 512 Ko. Mémoire flash : 4 Mo. SRAM : 520 Ko. ROM : 448 Ko.
- Amplificateur analogique à très faible bruit.
- Dimensions : 54,8 x 28,6 x 8 mm, poids : 7,5 grammes.

III.3.1.2 Broches de l'ESP32

La carte ESP32 est composée de plusieurs Broches qui sont représentées par la figure ci-dessous :

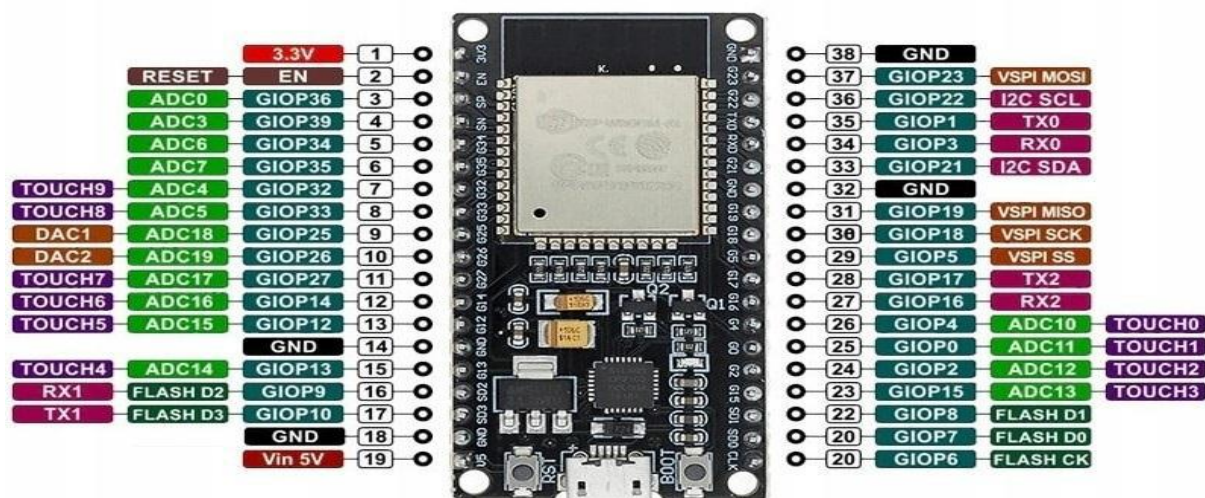


Figure III.2 : Schéma de brochage de l'ESP32 [11].

Le tableau suivant résume le rôle de chaque broche de la carte.

Broche	Fonction
Alimentation 3,3 V	C'est la sortie du régulateur de tension intégré, utilisée pour alimenter des composants externes.
Alimentation VIN	Permet d'alimenter directement la carte ESP32 avec une tension comprise entre 4,5V et 12V.
GND	Broche de masse de la carte ESP32.
Enable (EN)	Utilisé pour redémarrer la carte esp32.
GIOP (04 broches d'entrée, le reste sont des broches d'entrée/sortie).	Il y a 31 broches GIOP dont les fonctions sont définies par programmation.
Canaux ADC (16 CAN 12 bits)	La conversion analogique, numérique.

Canaux DAC (02 CNA 8 bits)	La conversion numérique, analogique.
Broches PWM (28 canaux)	Utilisés pour générer des signaux PWM.
Tactile capacitif (10 GIOP)	Ils permettent de détecter les variations induites au contact des GIOP avec un doigt.

Tableau III.1 : Broches de la carte ESP32.

La carte ESP32 permet d'établir plusieurs protocoles de communications tels que :

- **UART :** La carte ESP32 possède 3 interfaces UART qui fournissent une communication avec d'autres composants qui peuvent être un capteur, une carte Arduino, un ordinateur.

UART	UART0	UART1	UART2
TX (Emetteur)	Pin 1	Pin 10	Pin 17
RX (Récepteur)	Pin 3	Pin 9	Pin16

Tableau III.2 : Broches d'UART.

- **I2C :** Permet de communiquer efficacement avec divers périphériques externes. Il utilise par défaut les broches :

GIOP 21 : SDA (Serial Data Line) le signal de données bidirectionnelles.

GIOP 22 : SCL (Serial Clock Line) le signal d'horloge.

SPI : L'ESP32 dispose trois interfaces SPI : SPI1 est utilisé en interne pour accéder à la mémoire flash attachée de l'ESP32. SPI2 et SPI3 sont ouverts aux utilisateurs.

Chaque SPI utilise quatre signaux logiques :

SPI	SPI2	SPI3
SCLK (Horloge)	Pin 14	Pin 18
MOSI (Master Output, Slave Input)	Pin 13	Pin 23
MISO (Master Input, Slave Output)	Pin 12	Pin 19
SS (Slave Select, Actif à l'état bas)	Pin 15	Pin 5

Tableau III.3 : Broches pour les bus SPI.

III.3.2 Carte ESP32-CAM AI-Thinker

L'ESP32-CAM est une carte de développement avec une puce ESP32-S, constitué de deux cœurs de processeurs de traitement LX3 à 32bits et une caméra OV2640 ou OV7670 qui permet la visualisation des images fixe et vidéo. Elle dispose de plusieurs GPIO pour connecter des périphériques et lecteur de carte SD qui pourra servir à enregistrer des images lorsqu'un événement est détecté (détecteur de présence ou de mouvement par exemple) [12].



Figure III.3 : Carte ESP32-CAM [13].

Elle est équipée d'une caméra OV2640 qui est un capteur d'image à basse consommation qui intègre la technologie des semi-conducteurs CMOS de 2 méga pixels permettant d'obtenir des images de 1600*1200 pixels et des vidéos à 15 images/seconde.



Figure III.4 : Capteur d'image OV2640.

III.3.2.1 Caractéristiques

- Référence AI Thinker : ESP32-CAM.
- Alimentation : 3,3 ou 5 Vcc.
- Le plus petit module Soc Wifi BT 802.11b / g / n.
- Bluetooth: BLE (Bluetooth Low Energy), Bluetooth classique.
- Processeur 32 bits à basse consommation.
- La fréquence d'horloge peut aller jusqu'à 160 MHz, puissance de calcul jusqu'à 600 DMIPS.
- SRAM 520 Ko intégré, PSRAM 4M externe.
- Prend en charge les interfaces telles que UART / SPI / I2C / PWM / ADC / DAC.
- Prise en charge des appareils photo OV2640 et OV7670.
- Flash lampe intégrée.
- Température de service : -20 à 85 °C.
- Dimensions : 27 x 40 x 4,5 mm, poids : 10g.

III.3.2.2 Modules de l'ESP32-CAM

La figure III.5 représente la carte ESP32-CAM est composée de plusieurs modules.

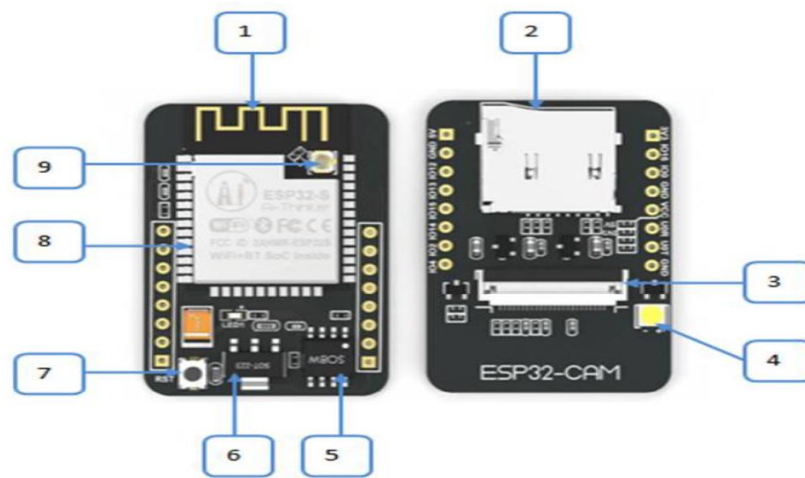


Figure III.5 : Composants de la carte ESP32-CAM.

- 1- Antenne intégrée.
- 2- Support de la carte mémoire SD permet de placer une mémoire externe.
- 3- Le connecteur de caméra permet de placer une camera OV2640 ou OV7670.
- 4- FLASH lampe.
- 5- PSRAM est une mémoire externe avec 4 Mo.
- 6- Régulateur de tension est utilisé pour maintenir une tension constante de 3,3 volts.
- 7- Bouton EN/Reset utilisé pour réinitialiser la puce ESP32-S.
- 8- La puce Esp32-S.
- 9- L'emplacement d'antenne wifi IPEX permet de placer une antenne externe.

III.3.2.3 Broches de l'ESP32-CAM

Cette section décrit le brochage du module ESP32-CAM AI-Thinker. La puce ESP32-S a un total de 34 broches mais seulement 16 broches sont exposées aux en-têtes de brochage [14].

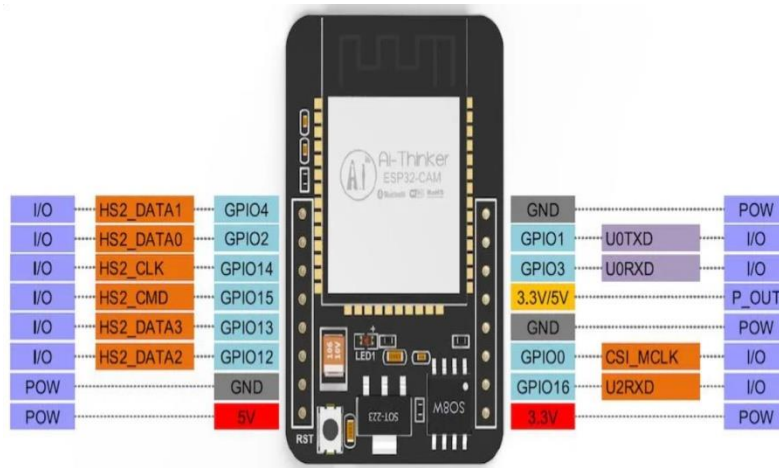


Figure III.6 : Broches de la carte ESP32-CAM [15].

Nom de la Broche	Fonction de chaque broche
Broches d'alimentation (5V, 3.3V)	Il est recommandé d'alimenter la carte via la broche 5V, puisque la broche 3.3V ne fournit pas une alimentation stable à la carte.
VCC	Broche de sortie d'alimentation, qui peut produire 5V ou 3,3V en sortie.
GND	Masse d'ESP32-CAM.
GPIO 1 et GPIO 3	Sont les broches série (TX et RX), utiliser pour la communication et le téléchargement du code sur la carte.
GPIO 0	Détermine si l'ESP32 est en mode clignotant ou non.
GPIO 16	Est par défaut une broche UART. On peut l'utiliser comme entrée.

GPIO 4	Est connectée à une LED, et cette LED intégrée très lumineuse qui peut fonctionner comme un flash lors de la prise de photos.
--------	---

Tableau III.4 : Broches de la carte ESP32-Cam.

- **Broches de la carte SD :** Les broches suivantes (Tableau III.5) sont utilisées pour connecter la carte ESP32-CAM avec la carte micro SD.

Carte Micro SD	ESP32
CLK	GPIO 14
CMD	GPIO 15
Données 0	GPIO 2
Données 1	GPIO 4
Données 2	GPIO 12
Données 3	GPIO 13

Tableau III.5 : Branchement de la carte ESP32-Cam avec micro SD.

III.3.2.4 Programmeur ESP32-CAM-MB

Le programmeur ESP32-CAM-MB est une carte conçue pour programmer le module ESP32-CAM. Il est conçu pour être directement enfiché sur cette carte. Il fournit l'alimentation nécessaire au module ESP32 pendant la programmation. Le programmeur est équipé d'un convertisseur USB/TTL CH340C et d'un connecteur USB Type Micro-B qui se connecte à un PC à l'aide d'un câble. Les broches nécessaires sont déjà soudées sur la carte, ce qui facilite son utilisation.

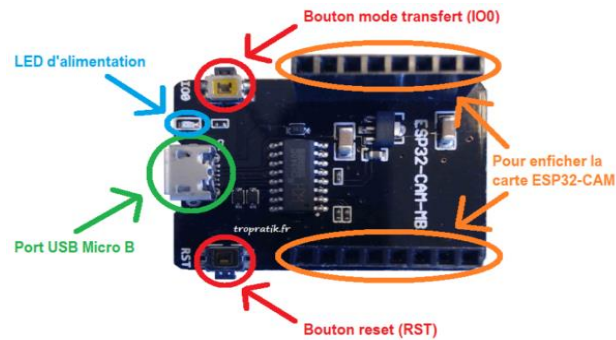


Figure III.7 : Programmeur ESP32-CAM-MB [16].

III.3.3 Capteur de gaz MQ-4

MQ-4 est l'un des capteurs de gaz couramment utilisés dans la série de capteurs MQ. Il s'agit d'un capteur de gaz de type oxyde de métal semi-conducteur (MOS). Le capteur de gaz MQ-4 détecte les concentrations de gaz naturel (composé principalement de méthane (CH_4)) dans l'air, il peut également détecter dans une moindre mesure d'autres gaz comme le Butane (C_4H_{10}), le Propane (C_3H_8) et l'hydrogène (H_2), ainsi que l'alcool et la fumée (sensibilité faible). Lorsque le gaz entre en contact avec le matériau de détection, la résistance de capteur varie proportionnellement en fonction de la concentration de CH_4 dans l'air. Cette variation est convertie en un signal de sortie analogique par le circuit électronique intégré associé au capteur. La sortie analogique peut être mesurée par un microcontrôleur (ESP32) grâce à son convertisseur analogique-numérique (ADC) intégré. L'ESP32 traite ensuite le signal pour convertir la tension analogique mesurée en concentration de méthane dans l'air (ppm).



Figure III.8 : Capteur de gaz MQ-4 [17].

Le MQ-4 peut détecter des concentrations de gaz naturel de 200 à 10000 ppm, ce capteur à une sensibilité élevée pour le méthane (CH₄), temps de réponse rapide, stable et durable. La sortie de capteur est analogique [18]. Il est utilisé dans des applications telles que : la détection de gaz naturel, système d'alarme de gaz et la robotique mobile.

Il comporte 4 pins :

- **VCC** : Utilisé pour alimenter le capteur, généralement la tension de fonctionnement est de plus 5V.
- **A0** : Il fournit une tension analogique de 0 à 5 V en fonction de l'intensité du gaz.
- **D0** : Il fournit 5 volts à la sortie si le gaz est détecté, sinon il fournit 0 volt.
- **GND** : Utilisé pour connecter le module à la terre du système.

Il est composé de plusieurs modules :

1 : Potentiomètre.

2 : Indicateur de puissance.

3 : Indication de sortie numérique.

4 : Comparateur Lm 393.

5 : MQ-4.

III.3.3.1 Caractéristiques

- Tension de fonctionnement : $5\text{ V} \pm 0,1$.
- Tension de chauffage : $5\text{ V} \pm 0,1$.
- Résistance de charge : 2 K ohms.
- Plage de résistance de détection : 10 à 60 K ohms.
- Plage de détection CH₄ : 200 à 10 000 ppm.
- Consommation thermique du capteur : $\leq 950\text{ MW}$.

- Humidité relative : > 95 % HR.
- Concentration standard en oxygène : 21 %.
- Tension analogique de sortie : 2,5 – 4 Volts (5 000 ppm CH₄).
- Temps de préchauffage : plus de 48 heures.
- La sensibilité de l'appareil peut varier en raison de la concentration en oxygène.
- Il est très sensible au méthane, ce qui le rend très utile pour détecter les systèmes.

III.3.4 Buzzer Actif

Un buzzer actif est un composant électronique qui génère du son lorsqu'il est alimenté par une tension continue. Il est souvent utilisé dans des applications de sécurité telle que les alarmes, les minuteries et la confirmation d'une entrée de l'utilisateur.



Figure III.9 : Buzzer actif.

III.3.4.1 Caractéristiques

- Tension : 12 v.
- Diamètre : 12 mm.
- Espace entre PIN : 6.5 mm.
- Hauteur : 8.5 mm.
- Courant : < 250 ma.

II.3.5 Driver motor L298N

C'est un circuit intégré dans des boîtiers Multi watt et PowerSO20 à 15 broches. Il s'agit d'un double pont-H destiné au contrôle des moteurs à courant continu. Il peut piloter des charges inductives comme des relais, solénoïdes, moteurs continus et moteurs pas-à-pas. Les deux types de moteurs peuvent être contrôlés aussi bien en vitesse (PWM) qu'en direction. Toutes les sorties en puissance sont déjà protégées par des diodes anti-retour. (Figure III.10). Il est conçu pour supporter des tensions élevées, des courants importants tout en proposant une commande logique TTL (basse tension, courant faibles, idéal donc pour un microcontrôleur) [19].

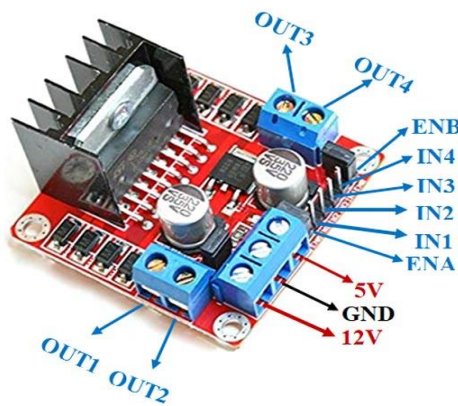


Figure III.10: Driver motor L298N [20].

Le module L298N possède 11 broches (Tableau III.6) qui lui permettent de communiquer avec le monde extérieur :

Nom de la Broche	Fonction de chaque broche
OUT3 & OUT4	Les broches de connexion au moteur B.
ENB	utilisée pour activer le pont H et le contrôler de la vitesse du moteur B.
IN4 / IN3	utilisées pour contrôler le sens de rotation du moteur B.
ENA	pour activer le pont H et contrôler la vitesse du moteur A.

IN2 / IN1	utilisées pour contrôler le sens de rotation du moteur A.
GND	Broche de masse commune.
5V	Alimentation du circuit logique de communication à l'intérieur du circuit intégré L298N.
VCC	Alimentation du moteur entre 5 et 35V.
OUT1 & OUT2	Les broches de connexion au moteur A.

Tableau III.6 : Différentes broches du module L298N.

III.3.5.1 Caractéristiques

Les paramètres électriques du double pont en H (L298N) sont donnés ci-dessous :

- Composant de contrôle en puissance : L298N.
- Alimentation de la charge : de +5V à +35V.
- Courant Max (en pointe) : 2A.
- Tension de commande logique VSS : de +5 à +7V (alimentation interne de +5V).
- Courant de commande logique : de 0 à 36 mA.
- Tensions pour contrôle du sens : LOW : -0.3V~1.5V, High : 2.3V~Vss.
- Tensions pour contrôle "Enable" : LOW : -0.3V~1.5V, High : 2.3V~Vss.
- Puissance Max : 25Watt.
- Température de fonctionnement : de -25°C à +130°C.
- Dimensions : 60mm x 54mm et Poids : 48g.

III.3.5.2 Pont en H

Le pont en H est une structure électronique servant à contrôler la polarité aux bornes d'un dipôle. Il est composé de quatre éléments de commutation (généralement disposés schématiquement en une forme de H d'où le nom. Les commutateurs peuvent être des relais, des transistors, ou autres éléments de commutation en fonction de l'application visée.

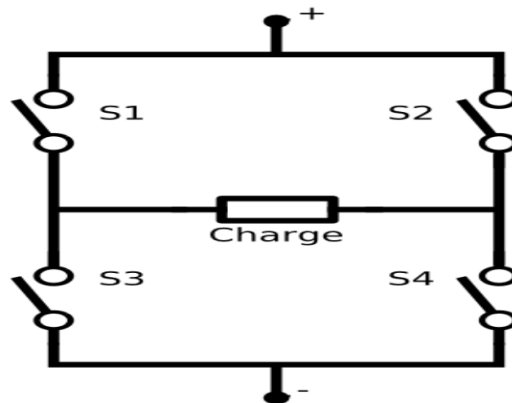


Figure III.11 : Circuit du pont en H.

✓ Fonctionnement du double pont en H (L298N)

Le sens de rotation du moteur à courant continu peut être contrôlé en changeant la polarité de sa tension d'entrée. La technique, est d'utiliser un pont en H qui contient quatre interrupteurs avec le moteur au centre formant une forme de H. La fermeture de deux interrupteurs particuliers en même temps inverse la polarité de la tension appliquée au moteur. Cela provoque un changement de sens de rotation du moteur [21].

Pont H fonctionne de la manière suivante (Tableau III.7) :

Entrées de sélection			
ENA	IN1	IN2	Résultat, en sortie (1er pont A)
ENB	IN3	IN4	Résultat, en sortie (2ème pont B)
LOW	X	X	Moteur en roue libre (à l'arrêt, Sans frein)
HIGH	L	L	Blocage du moteur (Arrêt rapide, Freinage forte)
	L	H	Marche Arrière
	H	L	Marche Avant
	H	H	Blocage du moteur (Arrêt rapide, Freinage forte)

Tableau III.7 : Table de vérité L298N.

III.3.6 Moteur à courant continue(MCC)

Moteur à courant continu (MCC) est un composant de conversion d'énergie électrique en énergie mécanique. Les moteurs à courant continu (figure III.12) transforment l'énergie électrique en énergie mécanique de rotation, pour être précis. Mais ils peuvent également servir de générateur d'électricité en convertissant une énergie mécanique de rotation en énergie électrique. C'est le cas par exemple de la dynamo [22].

Dans notre projet nous allons utiliser un moteur réducteur à courant continu 200RPM – 3V / 6V, qui est un ensemble composé d'un moteur électrique à courant continue fournit la puissance nécessaire au système et d'un réducteur généralement constitué d'un ensemble d'engrenages, pour réduire la vitesse de rotation et le couple (force de rotation) du moteur pour répondre aux besoins spécifiques de l'application.



Figure III.12: Motoréducteur DC.

III.3.6.1 Caractéristiques de motoréducteur

- Tension nominale : 3~6V.
- Courant permanent à vide : 150mA +/- 10%.
- Min. Vitesse de fonctionnement (3V) : 90+/- 10% RPM.
- Min. Vitesse de fonctionnement (6V) : 200+/- 10% RPM.
- Couple : 0.15Nm ~0.60Nm ~ 0.60Nm.
- Couple de décrochage (6V) : 0.8kg.cm.
- Dimensions du corps : 70 x 22 x 18mm.
- Poids du produit : 30,6g.

III.3.6.2 Principe de fonctionnement

Le moteur à courant continu est composé de deux parties principales : Le rotor (partie qui tourne) et le stator (partie qui ne tourne pas, statique). En électrotechnique le stator s'appelle aussi inducteur et le rotor s'appelle l'induit. Sur la (figure III.14), on peut l'observer au milieu entouré par les aimants bleu et rouge qui constituent le stator le rotor composé de fils de cuivre enroulés sur un support lui-même monté sur un axe. Cet axe, c'est l'arbre de sortie du moteur. C'est lui qui va transmettre le mouvement à l'ensemble mécanique (pignons, chaîne, actionneur...) qui lui est associé en aval [22].

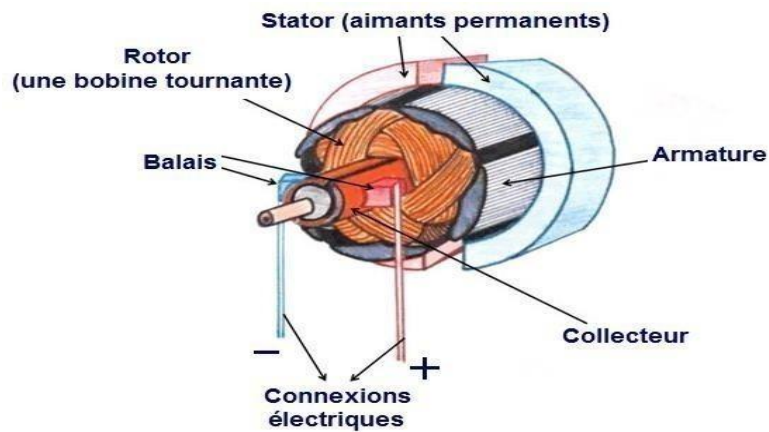


Figure III.13 : Principe de fonctionnement d'un moteur à courant continu.

III.3.7 Support

C'est une plaque qui représente l'ossature du véhicule sur laquelle tous les composants du robot sont placés et équilibrés. Il existe différents types de matériaux pour concevoir un châssis. Dans notre projet nous avons choisi le métal puisqu'il confère une solidité au châssis. Ce dernier se compose d'un étage. La forme du châssis choisie est donnée par la figure III.14.



Figure III.14 : Support.

III.4 Partie Logiciel

III.4.1 Logiciel Arduino IDE

Arduino est un logiciel open source téléchargeable gratuitement sur le site officiel d'Arduino, qui est un espace de développement intégré (EDI), il est compatible avec système d'exploitation Windows, Mac OS X et Linux (32 et 64 bits) et avec toute les carte ; ce logiciel est exécutable sur les plateformes IA-30, x86-64, ARM [23].

Arduino utilise le langage de programmation C / C ++, qui permet de programmer facilement des microcontrôleurs [23].

L'IDE Arduino permet :

- D'éditer un programme.
- De compiler le programme.
- De charger le programme dans la mémoire microcontrôleurs.
- De communiqué avec microcontrôleurs grâce au terminal.

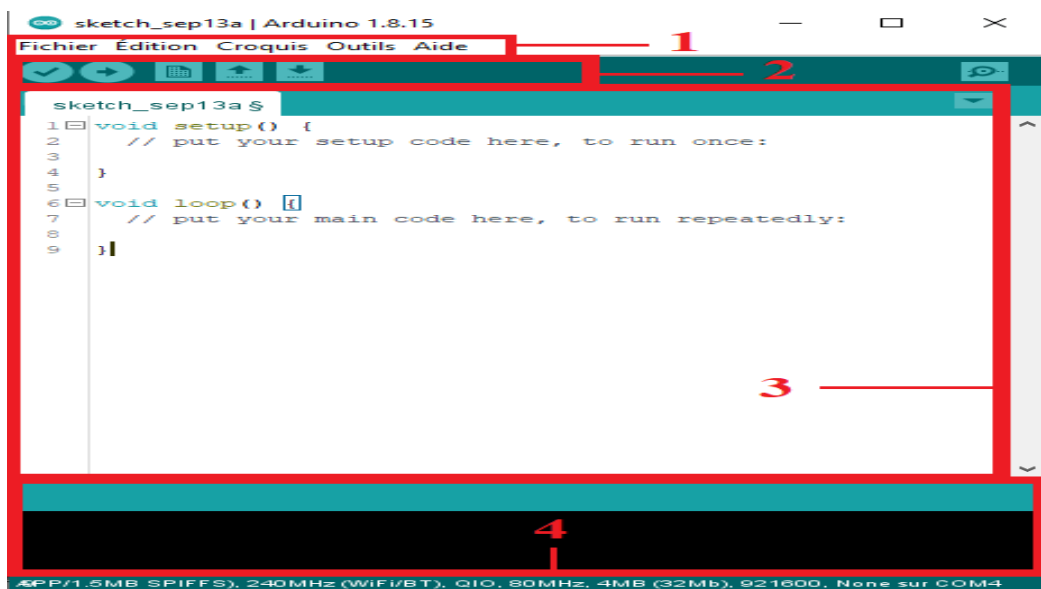


Figure III.15 : Interface de l'IDE.

1. Options de configuration du logiciel.
2. Boutons pour la programmation des cartes.

3. Programme à créer.
4. Débogueur (affichage des erreurs de programmation).

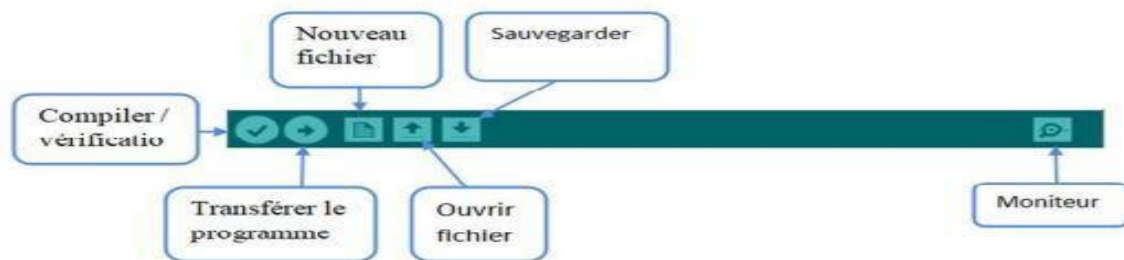


Figure III.16 : La barre d'outils du logiciel Arduino.

III.5 Réseau Wifi

Le réseau Wifi (Wireless Fidelity) est une technologie sans fil qui permet de se connecter à l'internet sans avoir relié l'appareil par un câble. Il fonctionne grâce à une borne ou un modem principal qui émet des ondes électriques à un adaptateur Wifi, généralement intégré dans les appareils comme les ordinateurs, tablettes ou Smartphones.

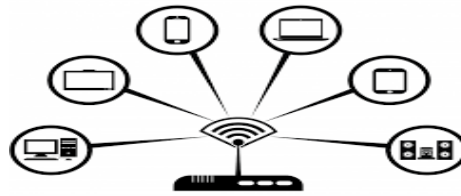


Figure III.17 : Réseau wifi.

III.6 Internet des objets (IOT)

L'Internet des objets, parfois écrit IDO ou IOT (Internet of things), concerne tous les objets pouvant être connectés à un réseau Internet. Mais plus particulièrement désigne un réseau d'appareils physiques, des "objets" qui intègrent des capteurs, des logiciels et d'autres technologies, leur permettant de collecter, stocker, transmettre et traiter des données et de communiquer entre eux, à des fins d'information ou d'automatisation [24]. Ces objets sont échangés afin d'être exploités dans divers domaines tels que : la santé, la robotique, la domotique, l'agriculture, le transport ...etc.



Figure III.18 : L'internet des objets.

III.6.1 Objets connectés

L'objet connecté est un objet électronique relié à Internet. Il peut communiquer avec un ordinateur, un Smartphone ou une tablette via un réseau sans fil connecté à l'internet ou un réseau local pour fournir des services ou échanger des données et être contrôlé à distance.

Un objet connecté fonctionne généralement de la manière suivante :

- Collecte de données : Les capteurs de l'objet connecté collectent des données sur son environnement.
- Transmission des données : Les données collectées sont transmises via une connexion sans fil (Wifi, Bluetooth, etc.) vers un serveur ou une application mobile.
- Traitement et analyse des données : Les données reçues sont analysées pour en extraire des informations utiles.
- Interaction avec l'utilisateur : L'utilisateur peut ensuite interagir avec l'objet connecté via une application mobile ou un site web.



Figure III.19 : Objet connecté [25].

III.6.2 Fonctionnement de l'IoT

Un capteur placé sur un équipement physique émet des données sur l'état de ce dernier. Une fois les données collectées par le capteur, elles sont généralement transmises à l'aide d'un réseau sans fil sur des plateformes IoT à une autre machine qui va prendre une décision et adapter son comportement ou directement sur une interface mobile où une présence humaine sera nécessaire pour en analyser les données.

L'IoT peut être considéré comme un ensemble de technologies interconnectées dans trois domaines principaux :



Figure III.20 : Fonctionnement de l'IoT.

- ✓ **Things « Objets » :** Sont des éléments physiques connectés à Internet. Ils incluent des capteurs, des actionneurs, des appareils intelligents et tout autre objet capable de collecter et transmettre des données via un réseau.
- ✓ **Insights « Informations » :** Il s'agit des résultats du traitement et de l'analyse des données collectées par les Things.
- ✓ **Actions :** il s'agit de la réponse automatisée ou manuelle aux informations remontées par l'Insight.

III.7 Discussion

Dans ce chapitre nous avons présenté les parties matérielle et logicielle de notre projet. L'étape suivante consiste en l'exploitation de ces différentes parties pour l'élaboration du robot mobile qui sera l'objet du prochain chapitre.

Chapitre IV

Mise en œuvre du système de détection de gaz

IV.1 Préambule

Les robots mobiles à roues sont les plus simples à mettre en œuvre que les autres types de robots. Dans ce contexte, le travail abordé dans ce chapitre consiste en élaboration de ce type de robot qui sera commandé à distance pour la recherche des fuites de gaz sur un réseau gazier. Dans les paragraphes ci-dessous, nous allons présenter les différentes parties de réalisation du robot mobile et les tests effectués.

IV.2 Mise en œuvre du Robot mobile

La mise en œuvre du Robot doit passer par deux étapes principales : la réalisation et la programmation du système. La tâche assignée au robot consiste en la recherche des fuites sur un réseau de gaz sous terrain, dont certains endroits restent inaccessibles pour l'être humain (milieu confiné). Le schéma synoptique est représenté par la figure IV.1.

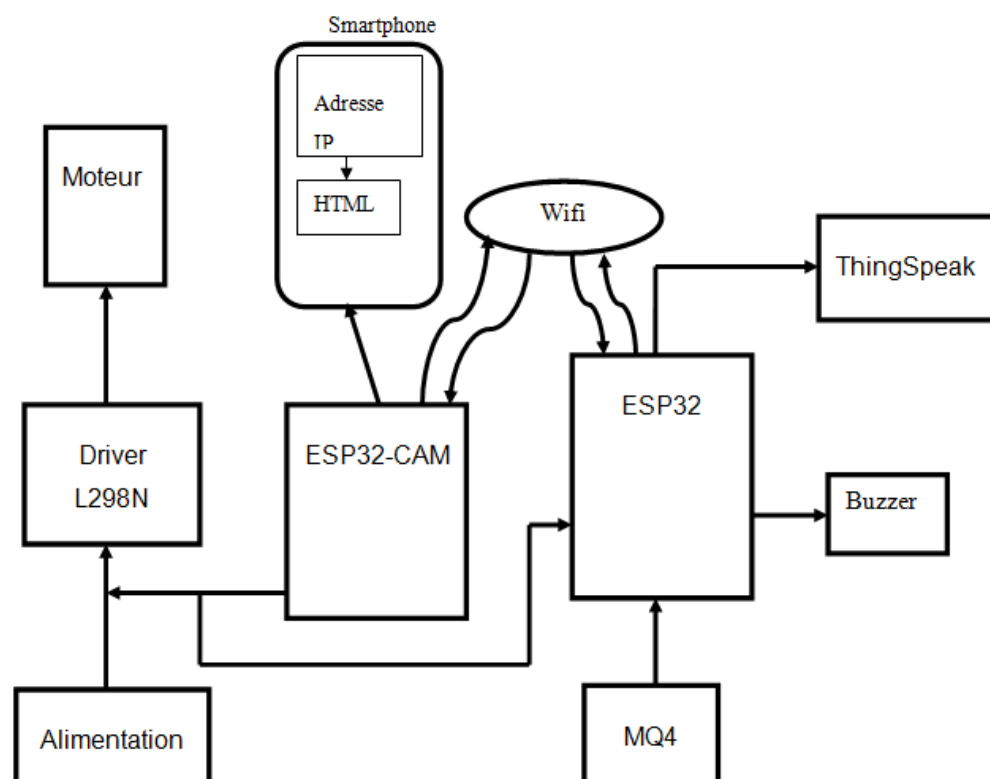


Figure IV.1 : Schéma Synoptique de système.

ESP32 : elle a pour rôle le traitement des données issus du capteur de gaz MQ-4 et les transmettre au ThingSpeak.

Capteur de gaz MQ-4 : permet de détecter les concentrations de gaz (CH₄) dans l'air.

ThingSpeak : c'est une plateforme IoT qui permet de recevoir, stocker et analyser les données issues de capteur de gaz et les visualiser en temps réel se forme graphique.

ESP32-CAM : elle permet de récupérer des images et commander les moteurs via le driver L298N.

Motoréducteurs : ils permettent au robot de se déplacer dans son environnement, en contrôlant la vitesse et les directions de ces mouvements.

Driver L298N : permet de commander les moteurs pour assurer le mouvement de robot.

Smartphone : sert pour l'affichage de l'interface web qui est créée avec un langage HTML permettant le contrôle à distance de robot mobile.

Le schéma de réalisation du système sur le logiciel Fritzing est représenté par la figure IV.2.

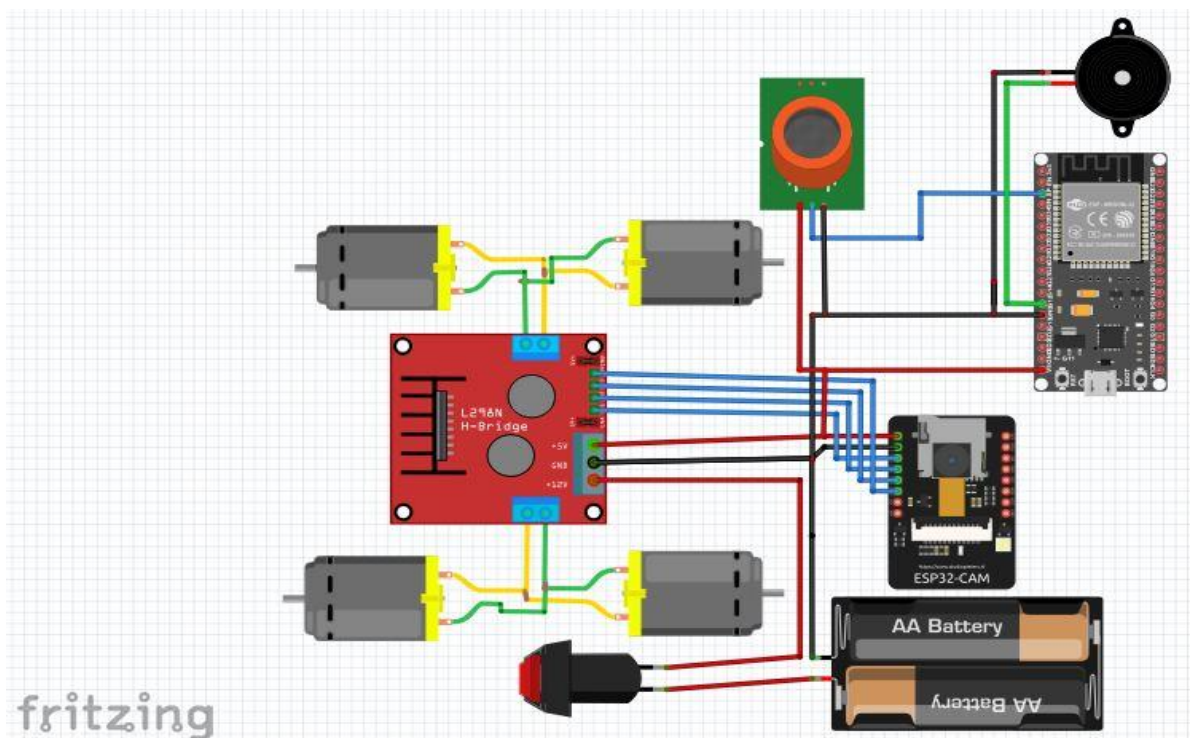


Figure IV.2 : Schéma de réalisation du système sur Fritzing.

Le système est composé de 2 parties :

Robot mobile : composé de la carte ESP32- CAM avec le circuit de puissance.

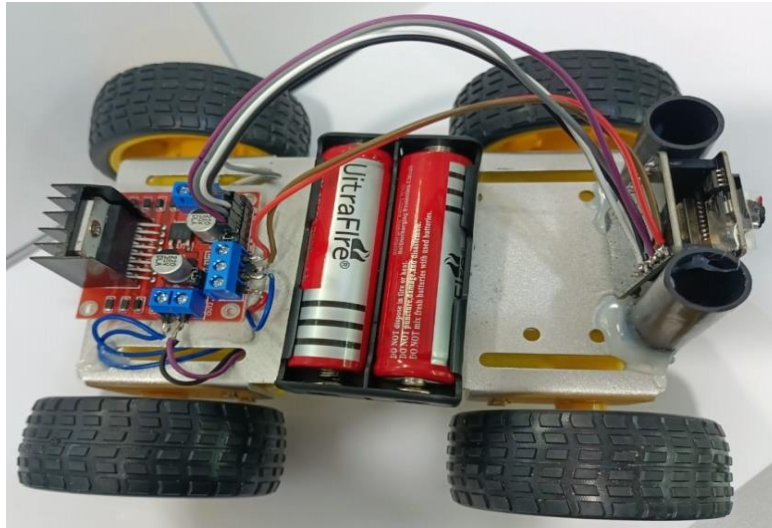


Figure IV.3 : Réalisation de Robot mobile.

Détection de gaz : consiste en la carte ESP 32 connectée au capteur de gaz MQ4

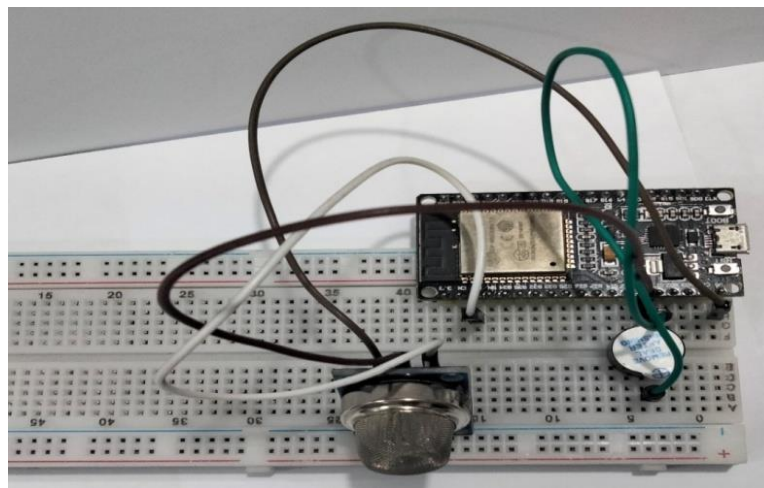


Figure IV.4 : Réalisation de capteur de gaz MQ-4.

Enfin les 2 parties sont regroupées sur le châssis et connectées à fin d'avoir un système fonctionnel.

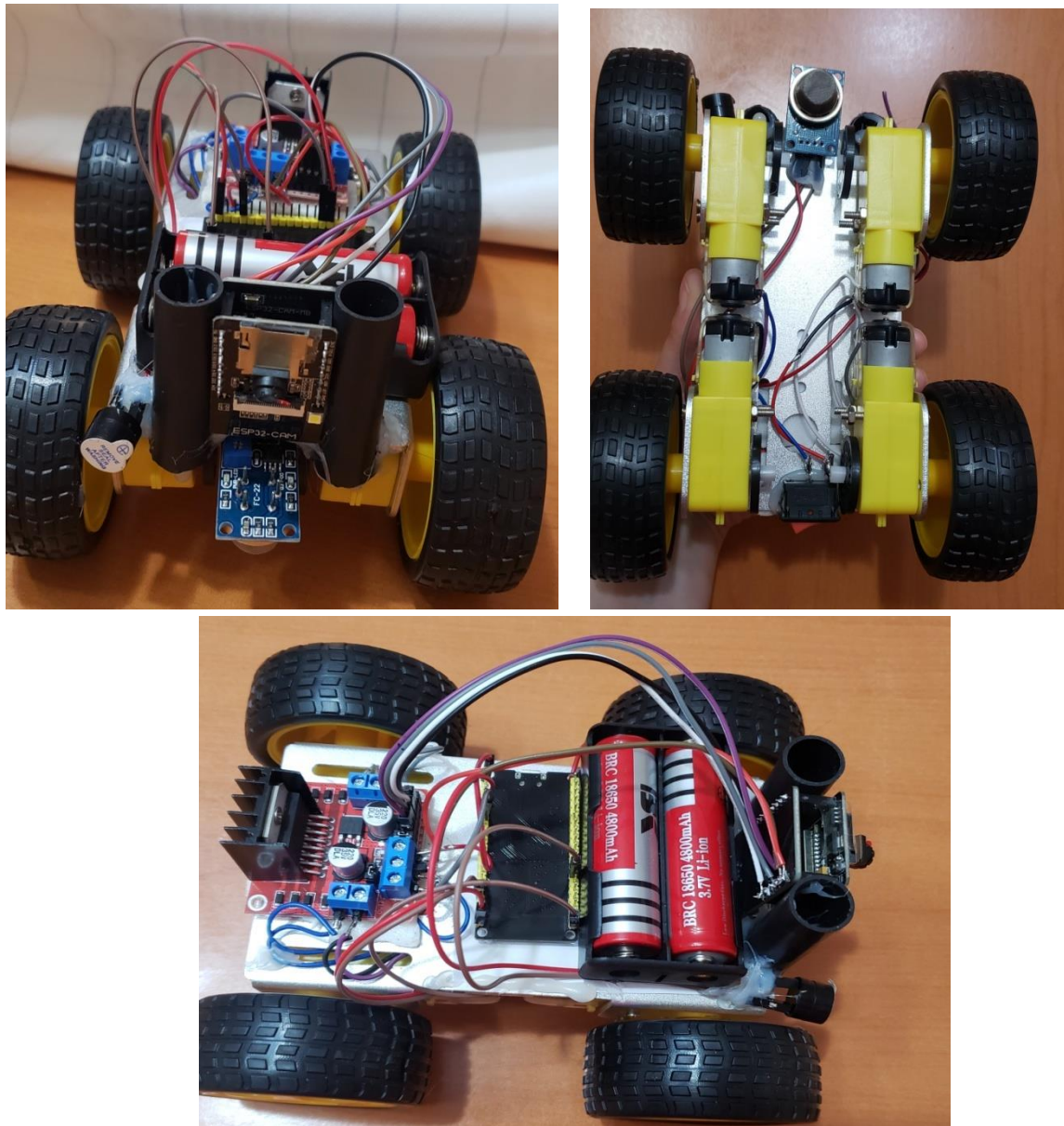


Figure IV.5 : Notre Robot mobile final.

Afin de contrôler le robot à distance, nous avons besoin d'une interface Web qui sera créée avec un langage HTML en utilisant le logiciel Arduino.

IV.3 Configuration HTML

HTML (langage de balisage hypertexte) est un langage de balisage, pas un langage de programmation puisqu'il n'autorise pas les variables ou les fonctions. Il est utilisé pour créer et structurer le contenu des pages web. Grâce à lui, il est possible de rédiger de l'hypertexte, de mettre en forme le contenu, de faire des formulaires de saisie, de rajouter dans la page des images, des vidéos ou des graphismes.

Le HTML emploie des balises entourées de chevrons (< >) pour définir les différents éléments d'un document tels que les titres ou les paragraphes. Chaque document HTML commence par une déclaration <DOCTYPE html >, suivie des balises <html>, <head > et <body>, organisant le contenu et les métadonnées. Il fonctionne de pair avec d'autres langages comme CSS pour le style.

Le tableau IV présente un résumé des principales balises HTML.

Balise	Utilisation
html	Définit le début du document html.
head	Contient les informations de configuration pour le document html comme les titres.
title	Définit le titre de la page ; élément de head.
Style	Définit un élément de code CSS.
Body	Définit le corps de fichier html tels que le texte, les images,...etc.
table	Créer un tableau.
tr/td	Tr : Définit une ligne de tableau. td : Définit une cellule de tableau.
p	Créer un paragraphe.
h	Les titres et les sous-titres sont indiqués par la balise h1 à h6 (six niveaux de titres).

Tableau IV.1 : Les balises de langage html.

La figure IV.6 représente un exemple d'un document HTML.

```

<!DOCTYPE html>
<html>
  <head>
    <title>Ma première page HTML</title>
    <meta charset = "utf-8">
    <link rel="stylesheet" href="cours.css">
  </head>
  <body>
    <h1>Titre de niveau 1</h1>
    <h2>Titre de niveau 2</h2>
    <p>Mon premier paragraphe écrit en HTML</p>
    
  </body>
</html>

```

Figure IV.6 : Exemple d'un document HTML.

IV.3.1 Création d'une interface Web avec logiciel Arduino

La création de l'interface web doit passer par les étapes suivantes :

1. Connecter le matériel.
2. Configurer l'IDE pour ESP32.
3. Importer les bibliothèques nécessaires (wifi, caméra, serveur).
4. Ecrire le code Arduino.
5. Téléverser le code sur ESP32-CAM.
6. Accéder à la page Web Html : l'accès
 - Ouvrir le moniteur série pour voir l'adresse IP attribuée par l'Esp32-CAM.
 - Taper cette adresse dans le navigateur web pour accéder à l'interface Web hébergée par l'ESP32-CAM.
 - Utiliser les boutons pour contrôler à distance le robot et le visualiser en direct.



Figure IV.7: Interface Web html.

IV.4 Langage CSS

CSS est un langage de feuille de style utilisé pour décrire la présentation d'un document écrit en HTML. Il permet de contrôler l'apparence et le style des éléments tels que la couleur, la police, la taille, la mise en page et l'animation des éléments d'une page web, sans avoir à modifier le code HTML. Il permet de séparer le contenu de la présentation, ce qui facilite la maintenance et le changement d'apparence d'un site web.

Les règles CSS sont généralement intégrées dans une page HTML à l'aide de la balise < Style> placée dans l'en-tête du document.

IV.5 ThingSpeak

ThingSpeak est une API (Application Programming Interface), une application open source pour l'Internet des objets, C'est à la fois un logiciel que chacun peut installer et un site web permettant de stocker et de collecter les données des objets connectés reçus de capteurs et afficher ces dernières sous forme graphique en passant par le protocole « http » via Internet ou un réseau local. Comme il peut également servir à déclencher des actions en fonction des données qui lui ont transmises [26].

IV.5.1 Etapes pour utiliser ThingSpeak

Pour pouvoir utiliser le serveur ThingSpeak pour la visualisation des données de notre système, il faut suivre les étapes décrites ci-dessous.

Etape 1 : Création de compte.

Cette étape est nécessaire pour le téléchargement des données sur ThingSpeak à des fins d'analyse et de traitement. La figure IV.8 représente l'interface de création d'un compte dans le site.

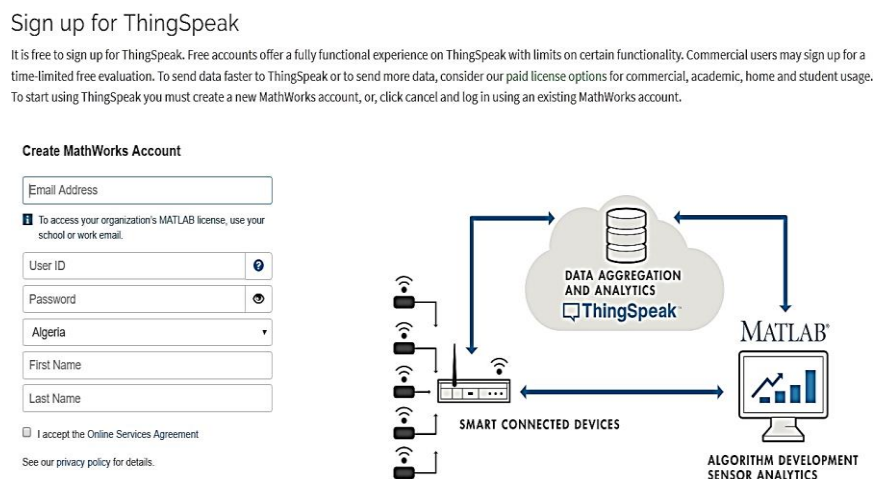


Figure IV.8 : Interface de création d'un compte.

Etape 2 : Création d'un nouveau canal.

Pour cela, il faut progresser comme suite :

- Saisir les détails du nouveau canal créé.
- Saisir les champs qui caractérisent les données qu'on va télécharger.
- Enregistrer le canal.

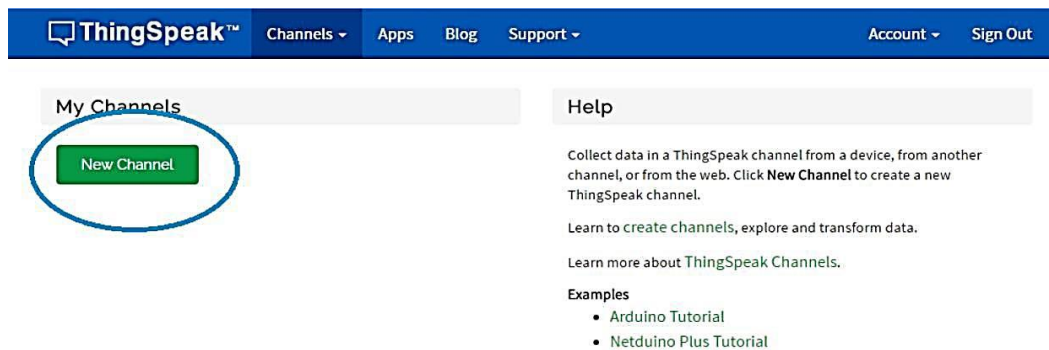


Figure IV.9 : Création du nouveau canal.

The image shows the 'Create Channel' form in the ThingSpeak interface. The form is light gray and contains several fields for channel configuration. At the top, it shows 'Percentage Complete' at 15% and 'Channel ID' as 23207. The 'Name' field is filled with 'Channel 23207'. Below this are fields for 'Description', 'Metadata', and 'Tags'. There are also fields for 'Latitude', 'Longitude', and 'Elevation'. A 'Make Public?' checkbox is present. The 'URL' field is empty. The 'Video ID' field is empty, with radio buttons for 'YouTube' and 'Vimeo'. Below these are eight 'Field' entries, each with a label (e.g., 'Field Label 1') and an 'add field' button. At the bottom of the form is a blue 'Save Channel' button.

Figure IV.10 : Interface de création d'un canal.

Etape 3 : Recherche la clé API.

À chaque canal correspondra une clé API unique, destinée à garantir le téléchargement des données au bon emplacement.

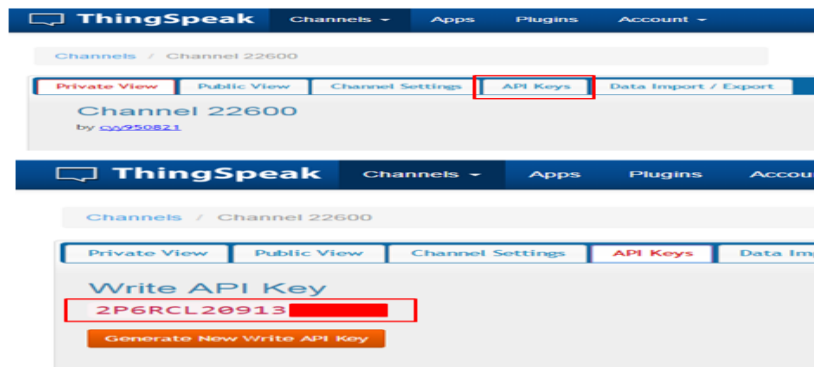


Figure IV.11 : Obtenir L'API ThingSpeak.

Etape 4 : Installation de la bibliothèque de communication ThingSpeak pour Arduino.

Dans l'IDE Arduino, choisissez Sketchbook / Inclure la bibliothèque / Gérer les bibliothèques. Cliquez sur la bibliothèque ThingSpeak dans la liste, puis cliquez sur le bouton Installer.

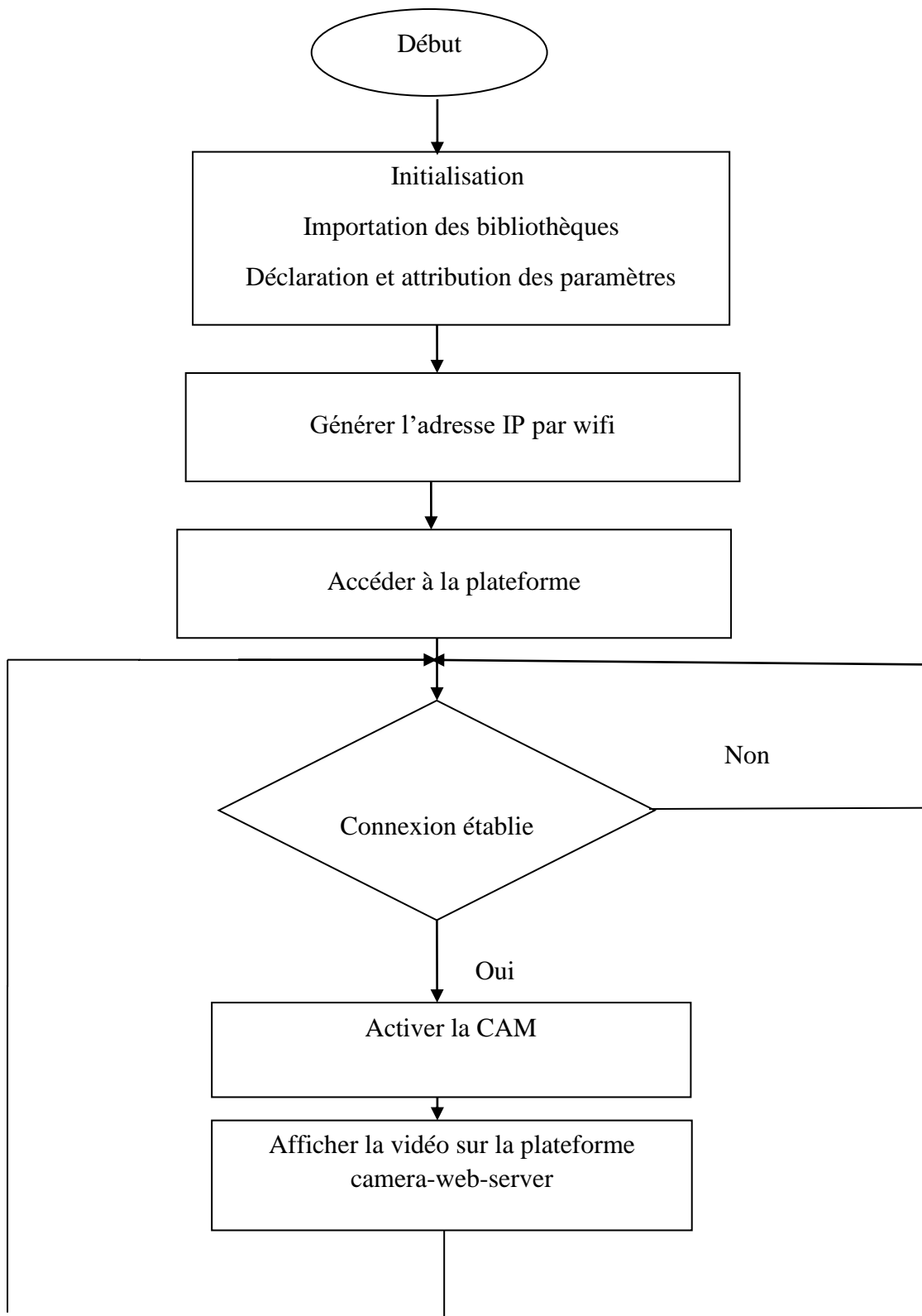
Etape 5 : Programme de plate-forme Arduino.

L'exemple de programme ci-dessous est adapté à l'utilisation d'une plate-forme Arduino, en association avec un module Wifi.

```
const char* ssid      = "*****"; // Your SSID (Name of your WiFi)
const char* password = "*****"; //Your Wifi password
const char* host = "api.thingspeak.com";
String api_key = "Y5SVQFU2PU49KIF5"; // Your API Key provied by thingspeak
```

IV.6 Programmation

La programmation de la carte ESP32-CAM est donne par l'organigramme de figure IV.12 :

**Figure IV.12 :** Fonctionnement ESP32-CAM.

La programmation de la carte ESP32-CAM est donnée par l'organigramme de figure IV. 13 :

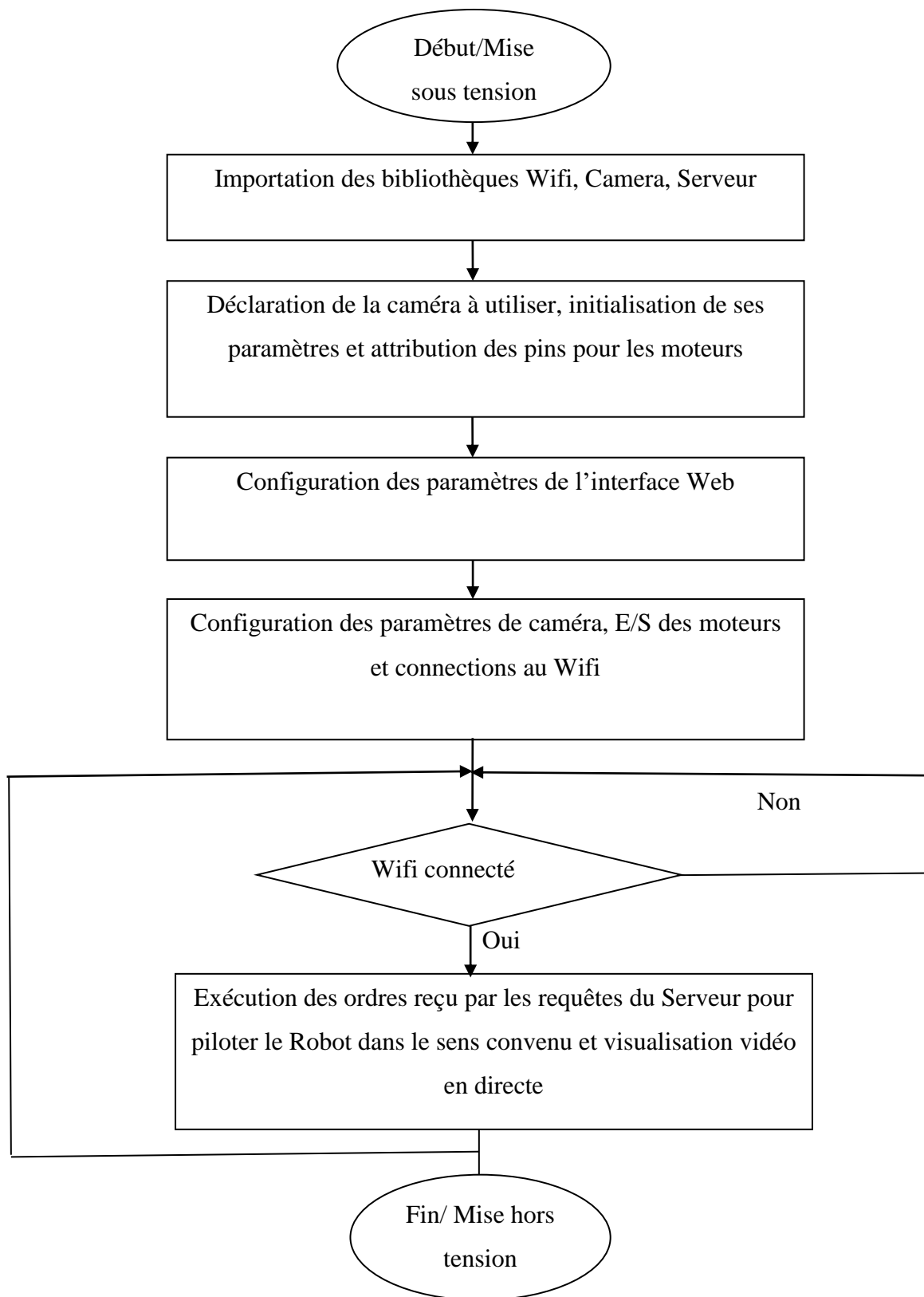


Figure IV.13 : Fonctionnement en mode manuel de Robot mobile.

L'organigramme sur la figure IV.14, résume le fonctionnement de capteur de gaz MQ-4, Esp32 et ThingSpeak.

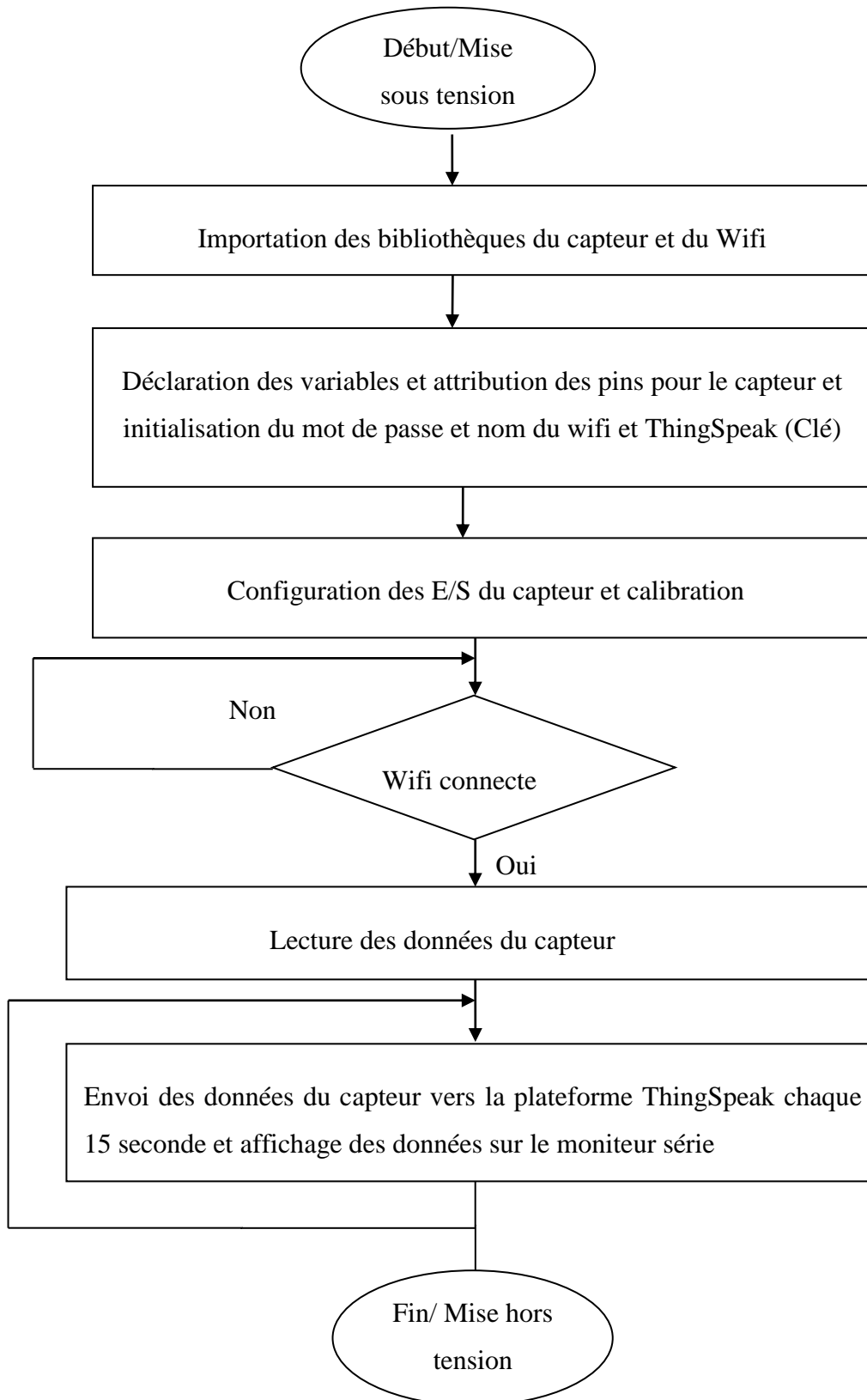


Figure IV.14 : Organigramme Esp32 et capteur de gaz.

IV.7 Tests et résultats

IV.7.1 Test de visualisation de l'ESP32-CAM

Afin d'activer l'ESP32-CAM, il faut se connecter au réseau Wifi pour nous générer une adresse IP. Ce dernier sera copié vers un navigateur web, pour nous donner la plateforme « camera-web-server ». Nous allons appuyer sur le bouton « Start », une fois que la caméra est activée elle commence à prendre des vidéos (15 images/s). Pour arrêter la vidéo en direct nous allons utiliser le bouton « Stop Stream » (Figure IV.16).

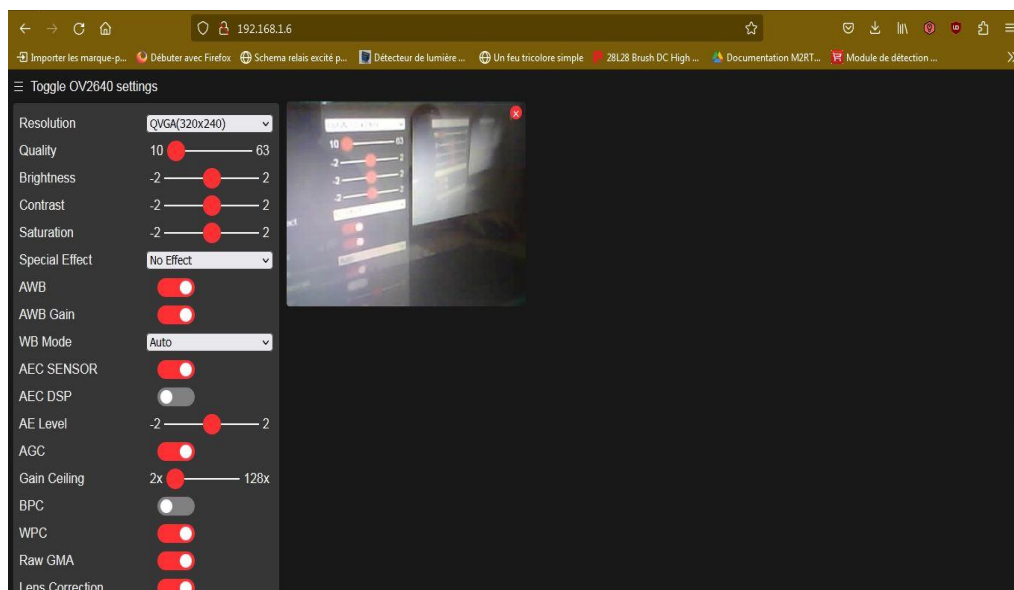


Figure IV.15 : Test de l'Esp32-Cam.

IV.7.2 Test de capteur de gaz MQ-4

Le test de capteur de gaz MQ-4 à été effectué le 18 Juin 2024 à 13 :55h, voici les résultats obtenus sur le moniteur série et la plateforme ThingSpeak :

➤ Sur le moniteur série

Les figures suivantes représentent les concentrations de gaz méthane (CH₄) envoyées par le capteur de gaz chaque une seconde sur le moniteur série :

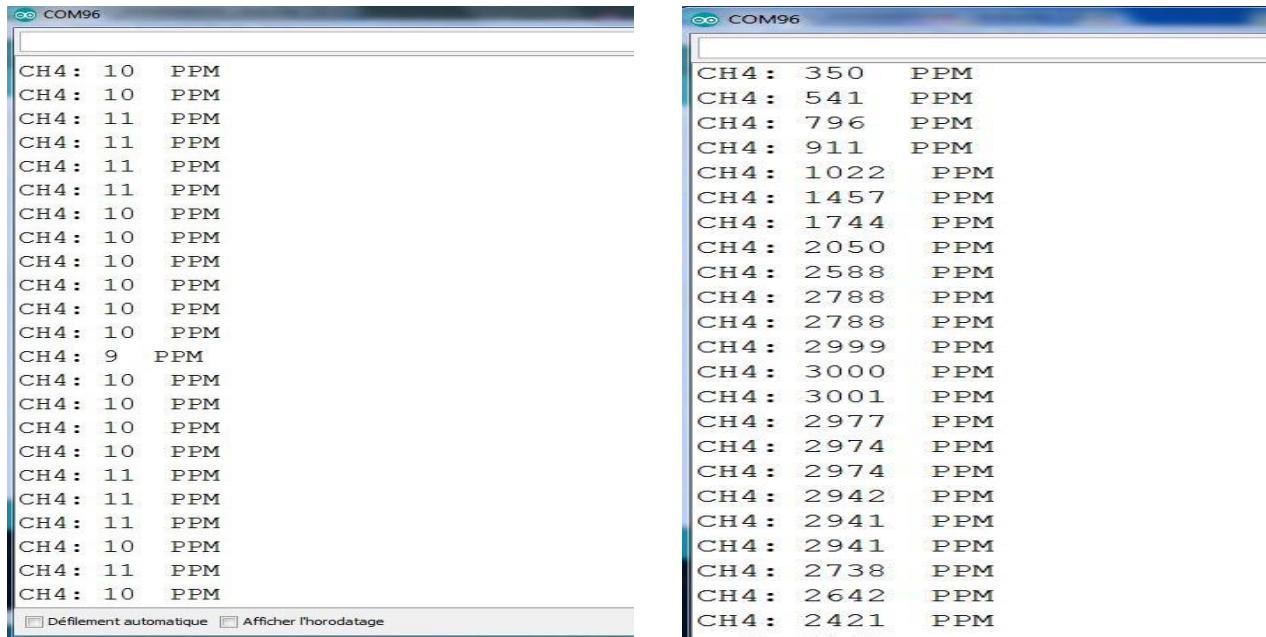


Figure IV.16 : Concentration de gaz méthane (CH4) en absence et en présence de fuite.

➤ **Sur ThingSpeak**

La figure et le tableau suivants représente les mesures que nous avons étudiées sur la plateforme ThingSpeak envoyées chaque 15 seconde :

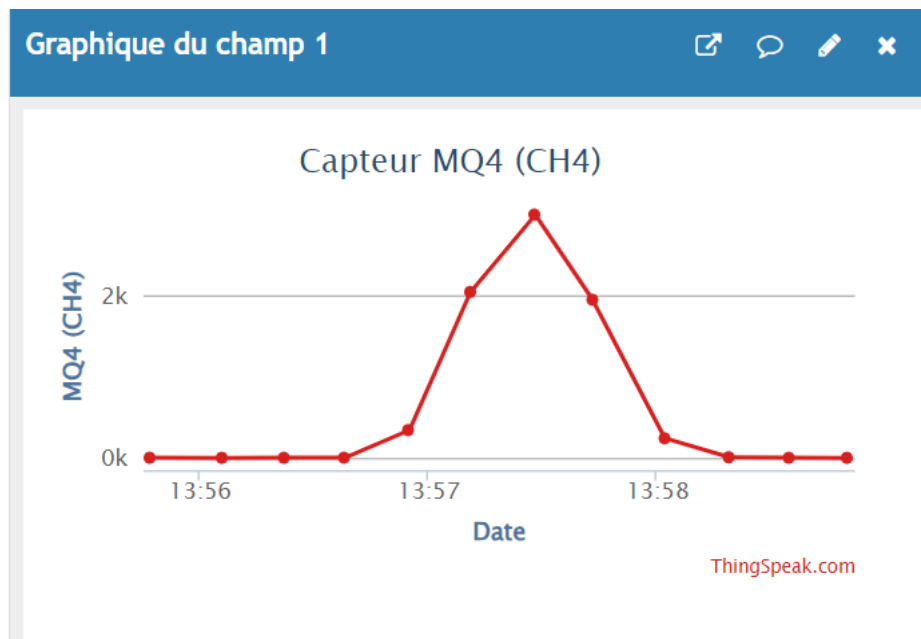


Figure IV.17 : Courbe de concentration de gaz méthane (CH4).

Temps	Concentration de gaz en ppm
13 : 56 : 06	9
13 : 56 : 22	10
13 : 56 : 38	11
13 : 56 : 55	350
13 : 57 : 11	2050
13 : 57 : 28	3001
13 : 57 : 43	1954
13 : 58 : 02	249
13 : 58 : 19	16
13 : 58 : 35	10

Tableau IV.2 : Les différentes mesures de concentration de gaz dans l'air.

IV.7.3 Test mode manuel de Robot mobile

Le déplacement de robot mobile basé sur l'interface web, qui permet à l'utilisateur de le contrôler à distance. Cette interface dispose des boutons pour manipuler le robot dans diverses directions.

- **Déplacement en avant :** Il faut que tous les moteurs soient alimentés dans un seul sens.
- **Déplacement en arrière :** Pour le recul du robot, il faut que tous les moteurs s'actionnent dans le sens opposé.
- **Déplacement à gauche :** Il faut actionner les moteurs du côté droit.
- **Déplacement à droite :** Il faut actionner les moteurs du côté gauche.

Le tableau suivant (Tableau IV.2) illustre les boutons de direction et de commande, ainsi que le mouvement des moteurs :

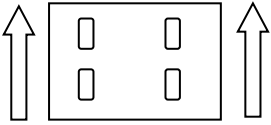
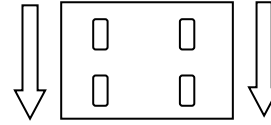

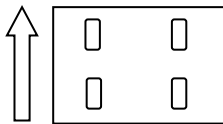
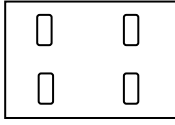
Bouton	Commande	Mouvement
Forward	Avancer	
Backward	Reculer	
Left	Turner Gauche	
Right	Turner Droite	
Stop	Arrêt	

Tableau IV.2 : Les boutons de contrôle de Robot mobile.

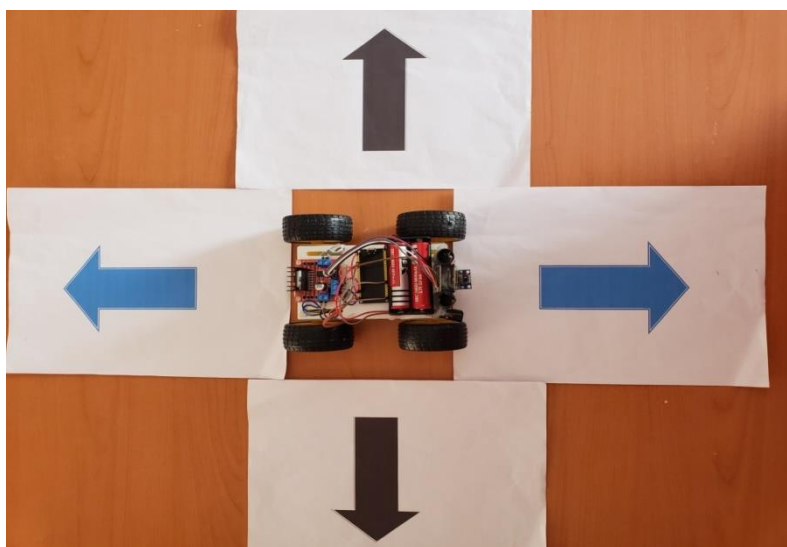


Figure IV.18 : Robot avant d'activation de mode manuel.

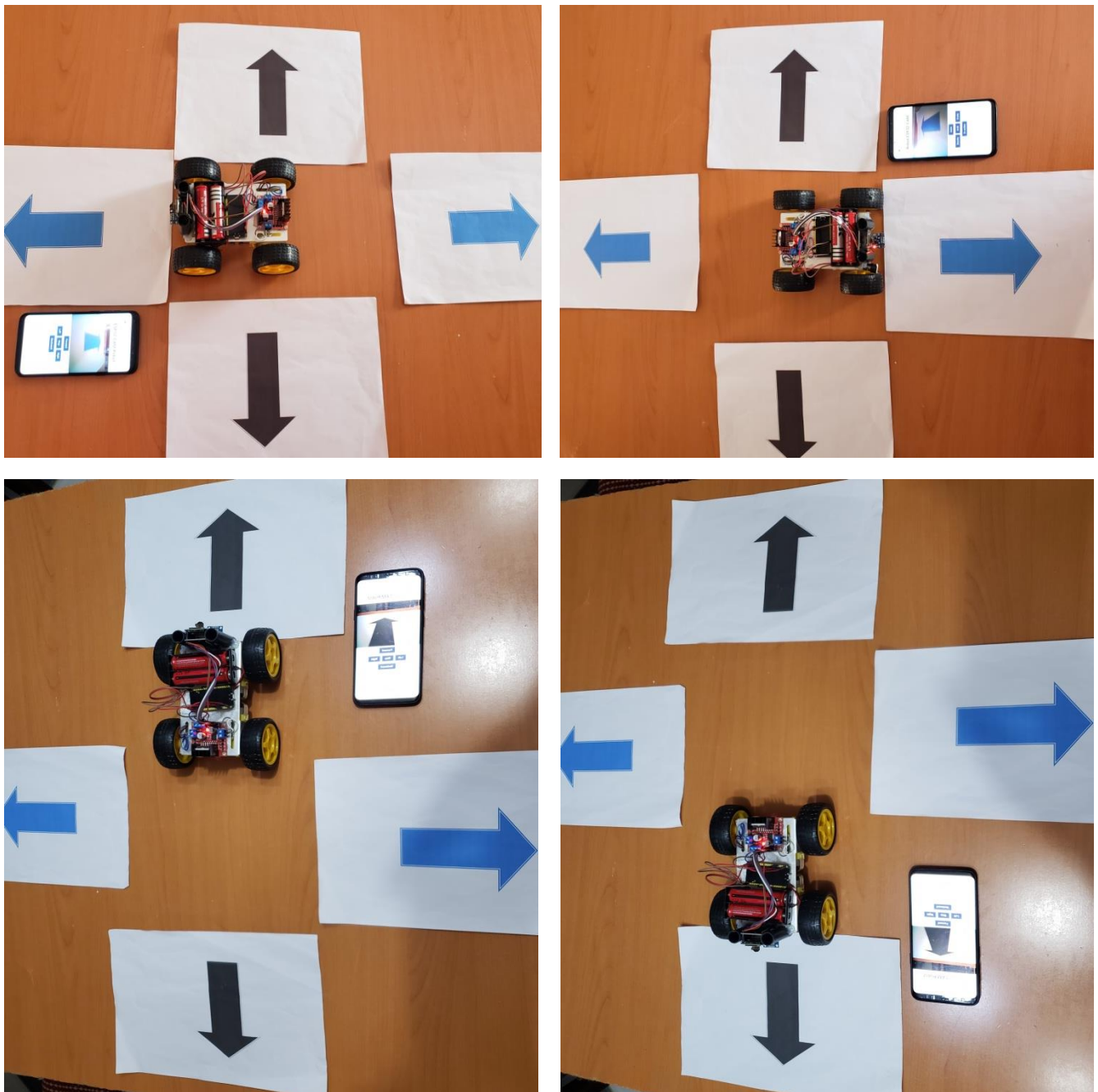


Figure IV.19 : Test sur l'activation du mode manuel.

Après la mise au point du prototype du robot, un ensemble de tests ont été effectués sur celui-ci. Nous avons constaté que toutes les fonctions mobiles et la commande à manuelle à distance ainsi que la partie détection de fuites de gaz sont fonctionnelles.

IV.11 Discussion

Dans ce chapitre, nous avons présenté les étapes de réalisation de notre système de détection de gaz à base du robot mobile. Le système est composé de 2 parties : la partie robotique mobile permettant de commander le robot à distance pour la recherche des fuites de gaz. Tandis que la deuxième partie concerne la partie détection de gaz. Après avoir assemblé les deux parties des tests ont été effectués sur le système. Le système fonctionne convenablement et permet la recherche et la détection des fuites de gaz.



Conclusion

Conclusion et perspectives

A travers la réalisation de ce mémoire nous nous sommes consacré à la conception et la réalisation d'un prototype de robot mobile à roues de type voiture, qui permet de détecter les fuites de gaz sur le réseau de distribution sous terrain. Ce dernier est commandé à distance via wifi en mode manuel et équipé d'un capteur de gaz MQ-4, une carte ESP32, ESP32-CAM et une interface web.

La carte ESP32 est dotée d'un capteur de gaz MQ-4 afin de détecter les fuites avec une transmission de données via wifi sur la plateforme « ThingSpeak ». Tandis que la carte ESP32-CAM a pour rôle de commander les moteurs via un double pont en H du circuit de L298N permettant le contrôle du sens de rotation. L'interface web développée sur un Smartphone connecté au wifi permet de télécommander le robot mobile à distance.

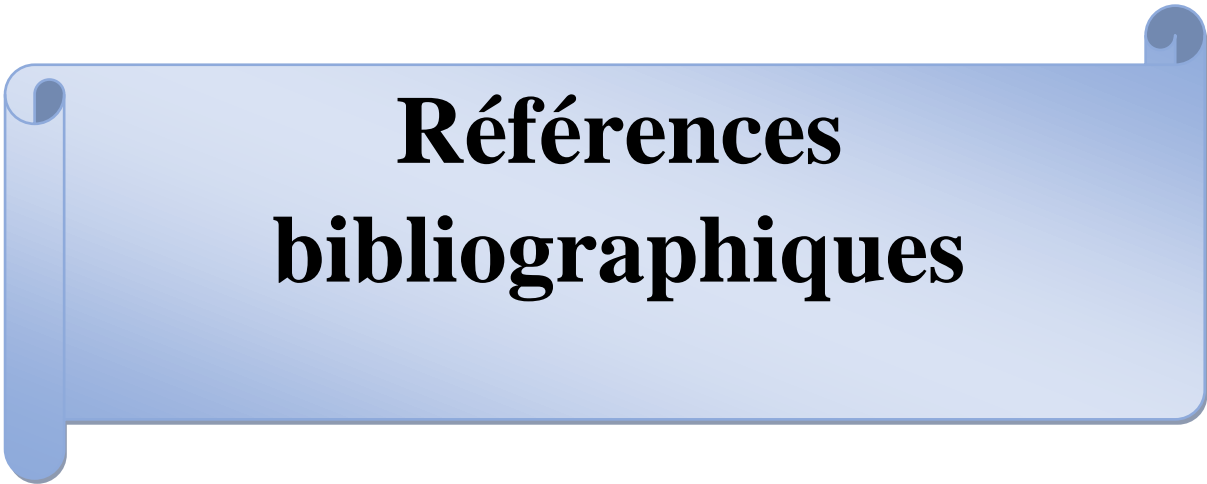
Nous avons pu atteindre notre objectif qui est de concevoir et contrôler un robot mobile dans quatre directions en mode manuel et la visualisation des endroits explorés pour la détection des fuites de gaz.

Certaines possibilités d'améliorer le fonctionnement de ce robot peuvent être envisagées en ajoutant d'autres fonctionnalités telles que :

- La localisation du robot.
- L'intégration d'une commande automatique afin d'avoir un robot autonome peut être réalisée.
- L'équipement du robot par des chenilles pour donner au robot la capacité de naviguer sur des terrains difficiles (sable, neige, surface accidenté... etc.).
- Améliorer la structure du robot en intégrant les éléments d'étanchéité pour une utilisation dans les milieux confinés.
- Augmenter l'autonomie de la batterie, structure plus volumineuse et reconnaissable.
- Déplacement à vitesse réduite à 0,2 mètres par seconde.
- Recevoir des notifications sur Smartphone en cas de présence de gaz.

Ce travail nous a donné l'occasion de mettre en œuvre nos connaissances théoriques et pratiques et d'enrichir notre savoir dans le domaine de la robotique, qui est de plus en plus présente dans notre quotidien.

Enfin, nous espérons que ce mémoire servira de modèle et sera enrichi par les promotions futures.



**Références
bibliographiques**

- [1] Dictionnaire encyclopédique en un volume, publié en 1905 sous la direction de Claude Augé (Petit Larousse illustré).
- [2] Takhi Hocine, Attachi Redouane Cherif, « Conception et réalisation d'un robot mobile à base d'Arduino ». Mémoire de fin d'études Master. Université Amar Telidji- Laghouat, 2015.
- [3] <https://ecolebranchee.com/scoop/le-robot-curiosity-explore-la-planete-mars/>. Consulté le 15/03/2024.
- [4] B. Bayle, « Robotique Mobile », Ecole National Supérieure de Physique de Strasbourg. Université Louis Pasteur, 2007.
- [5] Mahmoudia Ghiles, Amari idir, « Commande à distance d'un robot mobile à base d'une Raspburry Pi ». Mémoire de fin d'études, Université UMMTO, 2018.
- [6] Bali Chaher Eddin, Abaidi Hakim, « Réalisation d'un Robot mobile avec évitement d'obstacles et trajectoire programmé ». Mémoire de fin d'études Master. Université Mohamed Khider, Biskra, 2012.
- [7] Stéphane Lens, « Locomotion d'un robot mobile ». Mémoire présenté en vue de l'obtention du grade d'Ingénieur Civil Informaticien Année académique 2007-2008. Université de Liège. Institut Montefiore.
- [8] Gasmi, « Généralités sur les robots mobiles », pp. 6-49, 28/05/2014.
- [9] Abed Oussama, Amiri Samir, « Etude et Réalisation d'un système de reconnaissance faciale basé sur une carte ESP32-cam et la librairie OpenCV pour le langage Python ». Projet de fin de cycle. Université de Mohamed El-Bachir El-Ibrahimi - Bordj Bou Arreridj, 2022.
- [10] <https://calcuttaelectronics.com/product/esp32-development-board-38-pin/>. Consulté le 30/03/2024.
- [11] <https://www.flipkart.com/sunrobotics-esp32-development-board-wifi-bluetooth-38-pin-electronic-components-hobby-kit/p/itm2de4e65ee5e90>. Consulté le 30/03/2024.
- [12] Aoualit Thileli, Lounis Yanis, « Conception et réalisation d'un robot mobile à base de la carte ESP32 ». Mémoire de fin d'études Master. Université UMMTO, 2021.

Références Bibliographiques

- [13] <https://www.algeria.ubuy.com/fr/product/46NDVSUWU-aokin-esp32-cam-camera-module-esp32-development-board-wifi-and-bluetooth-with-ov2640-2mp-camera-for-arduino-1-pcs>. Consulté le 03/04.2024.
- [14] <https://www.raspberryme.com/guide-de-brochage-esp32-cam-ai-thinker-explication-de-lutilisation-des-gpio/>. Consulté le 5/04/2024.
- [15] <https://www.crepp.org/esp32cam/>. Consulté le 05/04/2024.
- [16] <https://tropratik.fr/produit/programmeur-esp32-cam-mb>. Consulté le 07/04/2024.
- [17] <https://mhtronic.com/produit/mq-4-capteur-de-gaz-naturel-gaz-methane-liquefie/>. Consulté le 14/04/2024.
- [18] <https://www.ourpcb.com/mq4-gas-sensor.html>. Consulté le 14/04/2024.
- [19] Baddou Mohamed, Ait Mellal Ismail, « Robot superviseur ». Projet fin d'études. Université Mohamed V de Rabat, 2016.
- [20] <https://microcell.ma/produit/driver-moteur-dc-l298n/>. Consulté le 16/04/2024.
- [21] <https://lastminuteengineers.com/l298n-dc-stepper-driver-arduino-tutorial/>. Consulté le 17/04/2024.
- [22] Simon Landrault (Eskimon), Hippolyte Weisslinger (olyte) ; Arduino : Premiers pas en informatique embarquée Édition du 19 juin 2014.
- [23] <https://arduino.blaisepascal.fr/presentation/logiciel/>. Consulté le 28/04/2024.
- [24] <https://www.snaplogic.com/fr/glossary/internet-of-things-iot> Consulté le 05/05/2024.
- [25] <https://myjungly.com/prestations/applis-objets-connectes/>. Consulté le 07/05/2024.
- [26] <https://www.wiki.lesfabriquesduponant.net/images/8/81/Tuto7-Tutoriel-Thingspeak.pdf>. Consulté le 22/05/2024.