

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 :*

**LOUNIS**      **Mira**  
**BABA**      **Manel**

Thème :

**Etude et conception d'un système IOT  
de sécurisation et de contrôle d'une  
salle machine industrielle**

**Devant le jury composé**

M <sup>me</sup> LAGHA. K	MCA,,	UMMTO,	Présidente.
M <sup>me</sup> CHIBANE. L	MCB	UMMTO,	Encadreur
M <sup>me</sup> LAHDIR. L	MCB	UMMTO	examineur

# *Remerciements*

On remercie Allah le tout puissant qui nous a donné le courage, la sagesse et la patience afin de réussir ce modeste travail

A madame CHIBANE Loundja

On vous remercie d'avoir accepté de diriger ce travail, merci pour votre disponibilité votre patience ainsi que les remarques constructives que vous nous avez faite.

Que ce mémoire soit le témoignage de notre sincère gratitude un grand et un énorme merci !

A Madame K.Lagha

Nous vous remercions pour avoir bien voulu accepter de présider notre jury.

Nous sommes reconnaissants pour l'enseignement que vous avez prodigué et vos conseils qui nous ont permis d'avancer dans notre formation

A Madame L.LAHDIR

Nous vous remercions de prendre le temps de juger ce travail et nous faire l'honneur de faire partie de notre jury. Nous vous

Témoignons toute notre gratitude.

**Merci.**

## *Dédicace*

Je dédie ce modeste travail à mes chers parents mon père et ma mère, qui ils m'ont soutenu avec leurs doua et ils m'ont aidé tout en long de mon parcours, grâce à eux je suis arrivé là, ci tellement il Ya pas des mots à exprimer leurs patience, leurs soutiens, merci à vous

À mes chères sœurs et mon frère qui ils sont toujours à mes côtés.

Et ma binôme manel, pour son engagement, sa collaboration et son amitié tout en long de ce projet.

*Mira*

## *Dédicace*

Je rends grâce à Dieu, source de force et de sagesse, qui m'a guidée tout au long de ce parcours.

Je dédie ce modeste travail :

À mon père et à ma mère, pour leur amour, leurs prières et leurs sacrifices inestimables.

À ma sœur et à mes frères, pour leur soutien constant et leurs encouragements.

À mes amis, pour leur présence, leur aide et leur bonne humeur.

Et à ma précieuse binôme **Mira**, pour son engagement, sa collaboration et son amitié tout au long de ce projet.

*Manel*

# Sommaire

Introduction générale .....	1
<b>Chapitre I : Etat de l'art sur les salles machines industrielles</b>	
I.1. Introduction.....	2
I.2. Définition d'une salle machine .....	2
I.3. Types de salle machine .....	3
I.3.1. Salle des machines de production .....	3
I.3.1.1. Fraiseuse .....	3
I.3.1.2. Les perceuses .....	4
I.3.1.3. Machines de Tournage .....	4
I.3.2. Salle des moteurs et générateurs .....	5
I.3.2.1. Moteur électrique .....	5
I.3.2.2. Moteur thermique.....	8
I.3.2.3. Moteurs Hydrauliques.....	10
I.3.2.4. Moteurs Pneumatiques.....	11
I.3.3. Salle de compresseurs .....	13
I.3.3.1. Salle de Compresseurs pour le Gaz.....	14
I.3.3.1. Salle des Compresseurs d'Air.....	15
I.3.4. Salle des Pompes.....	16
I.3.4.1. Électrique .....	16
I.3.4.2. Hydraulique.....	17
I.3.4.3. Thermique .....	18
I.3.5. Salle de Distribution (Électriques).....	18
I.3.5.1. Transformateurs .....	18
I.3.5.2. Armoires Électriques.....	19
I.3.5.3. Onduleurs .....	19
I.3.5.4. Tableaux de Distribution.....	20
I.3.6. Groupe Électrogène.....	21
I.3.6.1. Contenu d'un Groupe Électrogène .....	22
I.3.6.2. Principe de fonctionnement .....	22

I.3.6.3. Utilisation dans la salle électrique .....	23
I.4. Enjeux de la sécurisation des salles machines industrielles.....	23
I.4.1. Risques liés aux salles machines industrielles .....	24
I.4.1.1. Risques d'incendie : un danger omniprésent et multiforme .....	24
I.4.1.2. Risques de surchauffe : un processus insidieux .....	25
I.4.1.3. Risques de fuite de fluides : une menace multiple.....	26
I.4.1.4. Risques de pannes électriques : une perturbation majeure .....	27
I.4.1.5. Autres risques à considérer .....	27
I.4.2. Réglementation et normes de sécurité des salles machines industrielles.....	28
I.4.2.1. Normes électriques et protection contre les risques électriques .....	28
I.4.2.2. Normes de protection incendie et explosion .....	29
I.4.2.3. Normes de contrôle d'accès et cybersécurité.....	30
I.5. Conclusion .....	31

## **Chapitre II : Cartes et matériel utilisés**

<b>II.1. Introduction .....</b>	<b>34</b>
<b>II.2. Problématique du projet.....</b>	<b>34</b>
II.2.1. Le but du projet.....	34
II.2.2. Présentation du système étudié ainsi que son architecture .....	35
II.2.2.1. Présentation du système .....	35
II.2.2.2. L'architecture du projet .....	35
II.3.1. Définition .....	36
II.3.2. Les Différentes Installations .....	36
II.3.2.1. Classification selon le type de gaz comprimé .....	36
II.3.2.2. Classification par configuration et taille .....	36
II.3.3. Schéma bloc des différentes parties de la salle machine étudiée .....	37
II.3.3.1. Schéma électrique des compresseurs de gaz .....	39
II.4. Les cartes et capteurs utilisés .....	41
II.4. 1. Capteurs et actionneurs .....	41
II.4. 1. 1. Capteurs .....	41
II.4.1.1.1. Classification des capteurs .....	41
II.4. 1. 1.2. Les capteurs utilisés .....	41

II.4. 1. 2. Actionneur .....	44
II.4.1.2.1. Classification d'Actionneurs .....	44
II.4.1.2.2. Les actionneurs utilisés.....	44
II.4.1.3. D'autres matériaux .....	48
II.4.1.3.1. Chargeur 12V 2A .....	48
II.4.1.3.2. Afficheur lcd .....	49
II.4.1.3.3. Alimentation MB102 .....	49
II.4.1.3.4. La RFID .....	50
II.5. Microcontrôleurs et modules de communication (ESP32, ESPcam, Arduino) .....	51
II.5.1. La carte ESP32 .....	51
II.5.1.1. Les caractéristiques techniques.....	52
II.5.1.2. Brochage de la carte de développement ESP32 .....	52
II.5.2. La carte ESP32-CAM.....	53
II.5.2.1. Caractéristiques techniques de l'ESP32-CAM .....	54
II.5.2.2. Broches de L'esp32-cam .....	55
II.6. Communication et gestion des données .....	55
II.6.1. Protocoles de communication (HTTP, Bluetooth, etc.) .....	55
II.6.1.3. Bluetooth .....	57
II.6.2. Stockage et traitement des données .....	57
II.6.2.1. Application Web .....	57
II.6.2.2. Le Cloud Computing .....	58
II.6.2.2.1. Types de Cloud Computing .....	58
II.6.2.2.2. Fonctionnement de Cloud Computing .....	59
II.7. Présentation de la technologie IOT .....	59
II.7.1. Fonctionnement de l'IoT .....	60
II.7.2. Composants du système IoT .....	60
II.7.3. L'architecture de l'IoT .....	61
II.7.4. Technologies d'interfaçage (RFID, NFC, Zigbee) dans l'IoT .....	61
II.7.5. Domaine d'application.....	63
II.7.6. Les avantages et les enjeux de IOT.....	65
II.8. Conclusion .....	66

## Chapitre III : conception de système intelligent

III.1. Introduction .....	68
III.2. Programmation arduino .....	68
III.3. Etude du système de développement Arduino IDE.....	69
III.3.1. Description de l'IDE .....	69
III.3.2. L'environnement de la programmation (ARDUINO IDE) .....	69
III.4. Installation et configuration du module ESP32 pour Arduino IDE .....	70
III.4.1. Installation du module ESP32 pour Arduino .....	70
III.4.2. Configuration de l'ESP32 dans Arduino .....	72
III.4.3. Configuration de la carte ESP32-Cam dans le logiciel Arduino IDE .....	72
III.4.4 Fonctions de la bibliothèque Wi-Fi ESP32 (IDE Arduino) .....	76
III.5. Configuration de la plateforme Blynk IoT dans l'ESP32 .....	78
III.5.1 La définition .....	78
III.5.2 Composants principaux de Blynk .....	78
III.5.3 Description du service Blynk .....	79
III.5.4. Configuration de la plateforme blynk .....	79
III.5.5. Connexion des composants à la carte esp32 via une application blynk .....	81
III.5.6. Le fonctionnement de l'application avec le capteur de gaz .....	82
III.5.7. Programmation de la carte esp32 avec capteur de gaz connecté à l'application blynk ...	83
III.6. Expérimentation en conditions réelles .....	84
III.6.1. Déclenchement de buzzer allumage de led rouge .....	84
III.6.2. Fermeture des servomoteurs .....	84
III.6.3. Déclenchement des ventilateurs .....	85
III.6.4. La caméra de surveillance .....	85
III.6.5. Ouverture la porte de la salle .....	85
III.7. Développement des programmes (organigrammes).....	86
III.7.1. Organigramme de capteur dht11 .....	87
III.7.2. Organigramme de capteur MQ2 .....	88
III.7.3. Organigramme de ventilateur .....	89
III.7.4. Organigramme des servomoteurs .....	90
III.8. Conclusion .....	91

# Liste des Figures

## Chapitre I:

<b>Figure I.1</b> : une salle machine industrielle .....	3
<b>Figure I.2</b> : Machine de production d'emballage .....	5
<b>Figure I.1</b> : moteur asynchrone triphasé.....	6
<b>Figure I.4</b> : moteur courant continu .....	6
<b>Figure I.5</b> : moteur brushless .....	7
<b>Figure I.6</b> : Moteur synchrone .....	8
<b>Figure I.7</b> : Moteur thermique.....	9
<b>Figure I.8</b> : moteur hydraulique .....	11
<b>Figure I.9</b> : Moteur Pneumatique à Palettes .....	12
<b>Figure I.10</b> : Moteur Pneumatique à Pistons Radiaux .....	13
<b>Figure I. 11</b> : Une Salle de Compresseurs pour le Gaz .....	15
<b>Figure I.13</b> : pompe électrique .....	16
<b>Figure I. 12</b> : Salle des Compresseurs d'Air.....	17
<b>Figure I.14</b> : Pompes hydrauliques .....	17
<b>Figure I.15</b> : Pompe thermique .....	18
<b>Figure I.16</b> : Armoire électrique .....	19
<b>Figure I.17</b> : Tableau de commande.....	21
<b>Figure I.18</b> : Groupe Électrogène.....	23
<b>Figure I.21</b> : Risques de pannes électriques .....	24
<b>Figure I.20</b> : Une Fuite de fluides .....	26
<b>Figure I.19</b> : un incendie dans une salle machine industrielle .....	27

## Chapitre II :

<b>Figure II.1</b> : Schéma bloc du système.....	38
<b>Figure II.2</b> : Schéma électrique (Parties puissance).....	39
<b>Figure II.3</b> : Schéma électrique (Parties commande).....	40
<b>Figure II.4</b> : Capteur DHT11 .....	42
<b>Figure II. 5</b> : Bronche du capteur DHT11.....	42
<b>Figure II.6</b> : Capteur MQ2 .....	43
<b>Figure II.7</b> : Bronches du capteur MQ2.....	44
<b>Figure II.8</b> : Electrovanne .....	45

<b>Figure II. 9</b> : Fonctionnement de l'électrovanne.....	46
<b>Figure II.10</b> :SG90 Micro Servomoteur.....	46
<b>Figure II.11.</b> Ventilateur 5V .....	47
<b>Figure II.12</b> : Relais .....	47
<b>Figure II.13</b> : Symbole du relais .....	48
<b>Figure II.14:</b> Adaptateur 12V .....	49
<b>Figure II.15</b> : Afficheur LCD I2C.....	49
<b>Figure II.16</b> : Alimentation externe MB102 .....	50
<b>Figure II.17</b> : RFID RC522.....	50
<b>Figure II.18</b> : Branche de l'RFID-RC522.....	51
<b>Figure II.19:</b> la carte esp32 .....	52
<b>Figure II.20:</b> Branche de la carte esp32.....	53
<b>Figure II.21</b> : La carte esp32-cam.....	54
<b>Figure II.22</b> : caractéristiques technique de la carte esp-32-cam.....	55
<b>Figure II.23</b> : Broches de L'esp32-cam .....	55
<b>Figure II.24:</b> Le Cloud Computing .....	58
<b>Figure II.25</b> : Fonctionnalité de Cloud Computing.....	59
<b>Figure II. 26:</b> L'Internet of Things (IoT).....	59
<b>Figure II.27:</b> L'architecture de l'IoT .....	61
<b>Figure II.28:</b> La technologie RFID .....	62
<b>Figure II.29</b> : La technologie NFC.....	62
<b>Figure II.30:</b> Zigbee .....	63
<b>Figure II. 31</b> : Les Villes Intelligentes .....	63
<b>Figure II. 32</b> : La domotique .....	64
<b>Figure II.33:</b> Domaine d'industrie .....	65

### **Chapitre III :**

<b>Figure III.1</b> : exemple de démarrage de program Arduino .....	68
<b>Figure III.2</b> : Fonctionnement d'un programme Arduino .....	69
<b>Figure III.3</b> : L'interface de logiciel Arduino IDE .....	70
<b>Figure III.4</b> : Installation du module ESP32 pour Arduino IDE.....	71
<b>Figure III.5</b> : Installation du module ESP32 pour Arduino IDE.....	71

<b>Figure III.6:</b> Installation du module ESP32 pour Arduino IDE.....	72
<b>Figure III.7:</b> Configuration de l'esp32 dans arduino .....	72
<b>Figure III.8 :</b> choisir le type de carte.....	73
<b>Figure III.9 :</b> étapes pour afficher le code de configuration d'esp32cam .....	73
<b>Figure III.10 :</b> code de configuration esp32cam affiché.....	74
<b>Figure III.11 :</b> connexion de l'esp32cam au Wifi .....	74
<b>Figure III.12 :</b> Adresse IP affichée sur le moniteur série.....	75
<b>Figure III.13 :</b> Ouverture d'un navigateur web avec adresse IP .....	75
<b>Figure III.14 :</b> Photo prise par ESP32-CAM stockée dans la carte SD .....	76
<b>Figure III.15.</b> Connexion au Wifi .....	77
<b>Figure III.16:</b> Interface de la plateforme Blynk.....	79
<b>Figure III.17 :</b> création d'un compte (dispositif) .....	79
<b>Figure III.18 :</b> activation de jeton d'authentification.....	80
<b>Figure III.19 :</b> les broches virtuelles de la plateforme .....	80
<b>Figure III.20 :</b> configuration dans le tableau de bord .....	81
<b>Figure III.21:</b> création de la notification.....	81
<b>Figure III.22 :</b> allumage de LED vert (état normale) .....	82
<b>Figure III.23 :</b> allumage de LED rouge (cas d'urgent) .....	82
<b>Figure III.24 :</b> la notification reçue (fuite de gaz détectée) .....	83
<b>Figure III.25 :</b> le code sur esp32 de capteur de gaz connecté à blynk .....	83
<b>Figure III.26 :</b> déclenchement de buzzer et allumage de led rouge .....	84
<b>Figure III.27:</b> Fermeture des servomoteurs .....	84
<b>Figure III.28 :</b> déclenchement des ventilateurs.....	85
<b>Figure III.29 :</b> capteur de la maquette.....	85
<b>Figure III.30 :</b> l'accès des personnes autorisées de rentrer.....	86
<b>Figure III.31 :</b> l'organigramme du capteur dht11.....	87
<b>Figure III.32 :</b> organigramme du capteur Mq2.....	88
<b>Figure III.33 :</b> organigramme des servomoteurs.....	89

## Liste des Tableaux

<b>Tableau II.1</b> : Caractéristique de capteur Mq2.....	43
<b>Tableau II.2</b> : Caractéristiques SG90 Micro Servomoteur .....	46.

# **Introduction Générale**

### Introduction Générale :

Dans le contexte de la modernisation industrielle accélérée, les entreprises cherchent toujours à améliorer la performance, la sécurité et l'efficacité de leurs installations. Parmi ces installations, les salles de machines industrielles jouent un rôle stratégique. Celles-ci contiennent des machines de production vitales telles que des compresseurs, des moteurs, des pompes, des générateurs et des panneaux de distribution. Le fonctionnement continu et efficace de cet équipement garantit non seulement une ligne de production constante, mais aussi la sécurité du site et des travailleurs.

Mais ces environnements techniques sont exposés à de nombreux risques : fuites de gaz, surchauffes, coupures de courant, accès non autorisé, etc. Face à ces problèmes, les solutions classiques de surveillance et de maintenance préventive sont à la limite de leurs capacités. C'est dans ce contexte que l'Internet des objets (IOT) s'impose comme une nouvelle et efficace solution, pour fournir un contrôle en temps réel, une détection intelligente des anomalies et une prise de décision automatisée.

Ce mémoire s'inscrit dans cette démarche d'innovation technologique. Il aborde la conception et le déploiement d'un système IOT pour la surveillance et la sécurisation d'une salle de machines industrielles en utilisant des composants électroniques existants (ESP32, capteurs, actionneurs), des méthodes de communication sans fil (Wi-Fi) et une interface mobile facile à utiliser via la plateforme Blynk.

L'objectif est de développer un système intelligent, autogéré et en réseau capable de :

- Détecter les fuites de gaz et les anomalies thermiques de la salle machine,
- Déclencher certaines actions (fermeture des électrovannes, activation des ventilateurs),
- Offrir un contrôle d'accès sécurisé (avec la technologie RFID),
- Permettre la surveillance à distance en temps réel.

Pour mener à bien notre présent travail nous l'avons structuré comme suit :

Le premier chapitre est consacré à l'examen des salles de machines industrielles : leur objectif, leurs limitations techniques, leur équipement et les mesures de sécurité associées.

Le deuxième chapitre traite des alternatives technologiques adoptées, des composants matériels et logiciels utilisés, et de l'architecture du système développé.

Le troisième chapitre est consacré à la réalisation de la maquette, aux tests et résultats.

A la fin nous avons terminé par une conclusion générale.

# Chapitre I :

## Etat de l'art sur les salles machines industrielles



**I.1. Introduction :**

Dans le cadre de l'industrialisation croissant et de l'automatisation des méthodes de fabrication, les salles machines industrielles occupent une place clé dans l'efficacité des installations et jouent un rôle très important dans les infrastructures industrielles, car elles accueillent des équipements indispensables au bon déroulement des processus de production et de transformation. Que ce soit les moteurs, les compresseurs, les générateurs et les tableaux de répartition, ces appareils demandent un cadre idéal pour assurer leur efficacité, fiabilité et leur durabilité pour la création et l'utilisation d'une salle machine.

La gestion des salles machines industrielles implique plusieurs défis techniques et organisationnels, d'une part, il est crucial de maîtriser les contraintes liées à l'environnement de travail des machines, notamment la dissipation thermique, l'acoustique, la qualité de l'air et la gestion des vibrations. D'une autre part les normes de sécurité et les réglementations en vigueur imposent des standards élevés pour prévenir les risques industriels, tels que les incendies, les fuites de fluides ou les pannes électriques, doivent donc respecter des critères rigoureux concernant la sécurité, l'ergonomie et l'efficacité.

Ce chapitre a pour objectif d'examiner les divers aspects associés aux salles machines industrielles en mettant valeur leur fonction, leur configuration technique les difficultés rencontrées lors de leur fonctionnement. Nous examinons notamment les principes de conception et d'aménagement, les équipements essentiels et leur mode de fonctionnement ainsi que les stratégies de maintenance, cette étude permettant d'assurer un fonctionnement efficace et sécurise des salles machines.

**I.2. Définition d'une salle machine :**

Une salle machines industrielles est un espace centralisé dans une installation industrielle où sont regroupés divers systèmes mécaniques et électriques essentiels au fonctionnement de l'usine. Elle abrite généralement des équipements tels que :

- Systèmes mécaniques : pompes, moteurs, turbines, systèmes de transmission, etc.
- Systèmes électriques : transformateurs, générateurs, panneaux de distribution, etc.
- Systèmes de contrôle et de régulation : systèmes de contrôle-commande, capteurs, etc.

Ces salles sont cruciales pour la production, la maintenance et la sécurité de l'installation. Elles doivent être conçues pour garantir l'efficacité opérationnelle, la sécurité des opérateurs et le respect des normes industrielles. [1] Elle est représentée dans (la figureI.1) au-dessous :



**Figure I.1** : une salle machine industrielle.

### **I.3. Types de salle machine :**

#### **I.3.1. Salle des machines de production :**

Une salle de machines de production est un espace industriel où sont installées et exploitées diverses machines et équipements indispensables à la fabrication de produits manufacturés. Cette salle est aménagée de manière à garantir une production efficace et sécurisée, en respectant les normes industrielles et ergonomiques.

Dans la salle des machines de production, il existe de nombreux types d'équipements spécialisés, chacun ayant une fonction spécifique dans le processus de fabrication, on site :

##### **I.3.1.1. Fraiseuse :**

Une fraiseuse est une machine-outil qui utilise des outils appelés fraises pour usiner des surfaces planes ou complexes. Ils permettent d'enlever de la matière sur une pièce en effectuant des mouvements de rotation et de translation.[2]

##### ➤ **Types de fraiseuses :**

- **Fraiseuse horizontale** : l'axe de la fraise est parallèle à l'établi, ce qui permet de traiter de grandes pièces de manière stable.
- **Fraiseuse verticale** : L'axe de la fraise est perpendiculaire à l'établi, ce qui rend l'opération de traitement plus flexible.[2]

##### ➤ **Applications courantes :**

- Fabrication de pièces de machines de précision
- Créer des formes complexes (engrenages, rainures, biseaux)
- Transformation de matériaux tels que le métal, le plastique ou le bois

**I.3.1.2. Les perceuses :**

Les perceuses sont des machines utilisées pour percer des trous dans divers matériaux (métal, bois, plastique). Ils sont généralement livrés avec des forets de différentes tailles en fonction des besoins.[3]

**➤ Types d'exercices :**

- **Perceuse verticale** : se fixe à un établi ou à une colonne pour offrir une précision extrême lors du perçage de pièces.
- **Perceuse portative** : pratique et légère pour les travaux mobiles nécessitant une plus grande flexibilité.[3]

**➤ Applications courantes :**

Perçage de trous lors de l'assemblage de pièces Taraudage pour le montage des vis et boulons Créer des trous borgnes ou débouchant.

**I.3.1.3. Machines de Tournage :**

Les machines de tournage (ou tours) sont utilisées pour usiner des pièces cylindriques en les faisant tourner sur un axe tout en appliquant un outil de coupe. Comme est montrée dans la (figureI.2).[4]

**➤ Types de tours :**

- **Tours conventionnels** : Utilisés pour des opérations manuelles ou semi-automatiques.
- **Tours à commande numérique (CNC)** : Permettent une automatisation avancée avec une précision accrue grâce à des programmes informatiques.[4]

**➤ Applications courantes :**

- ✓ Fabrication d'arbres, de bagues et de roulements
- ✓ Réalisation de filetages et de formes complexes
- ✓ Production de pièces pour l'industrie automobile, aéronautique et mécanique [4]



**Figure I.2 :** Machine de production d'emballage.

### **I.3.2. Salle des moteurs et générateurs :**

Ces espaces accueillent des moteurs électriques ou à combustion interne qui fournissent de l'énergie à différents équipements industriels tels que des pompes, des compresseurs et des machines-outils.

Les moteurs peuvent être en alliage léger ou en métal, avec des puissances allant de quelques kilowatts à plusieurs milliers de kilowatts. Ils trouvent leur place dans plusieurs domaines, y compris l'industrie, le traitement des eaux, et les systèmes de ventilation.

#### **I.3.2.1. Moteur électrique :**

Les moteurs électriques se différencient essentiellement par le type de courant employé et leur structure interne. Voici une explication complète des différents types de moteurs électriques :

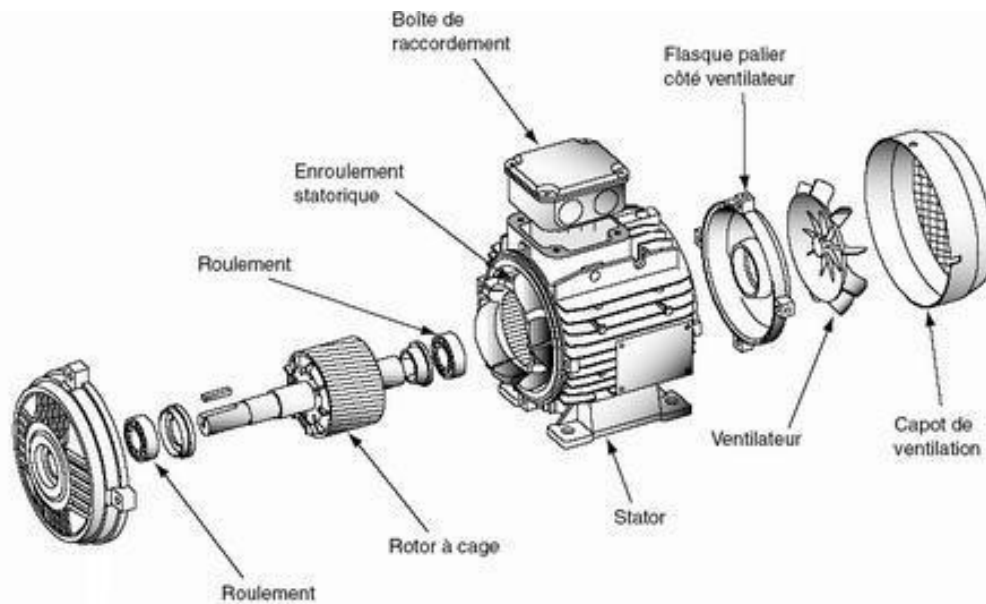
##### **A. Moteurs Asynchrones :**

Les moteurs asynchrones (figure I.3), connus également sous le nom de machines à induction, sont fréquemment employés dans de nombreuses applications industrielles en raison de leur simplicité, de leur solidité et de leurs faibles coûts d'entretien. Ils se présentent sous deux formes principales : monophasé et triphasé.

##### **➤ Catégories de Moteurs Asynchrones :**

**Monophasé :** Ces moteurs nécessitent un dispositif de démarrage pour fonctionner, car ils ne peuvent pas s'allumer directement avec un courant monophasé. Ils sont moins puissants et moins fréquemment employés que les moteurs triphasés.

**Triphasé** : Ces moteurs sont les plus courants dans les usages industriels. Ils emploient un champ magnétique rotatif créé par trois enroulements alimentés par un courant triphasé. [5]



**Figure I.2** : moteur asynchrone triphasé.

➤ **Fonctionnement :**

Le moteur asynchrone fonctionne grâce à un champ magnétique tournant créé par le stator alimenté en courant alternatif. Ce champ induit des courants dans le rotor, générant un couple qui fait tourner celui-ci dans le même sens que le champ. La vitesse du rotor reste toujours légèrement inférieure à celle du champ magnétique, ce qui permet de maintenir l'induction nécessaire au fonctionnement du moteur.

**B. Moteurs à Courant Continu (CC) :**

Les moteurs à courant continu (Figure I.4) sont utilisés dans diverses applications industrielles et domestiques où un contrôle précis de la vitesse et du couple est nécessaire. Ils existent principalement sous deux formes : à aimant permanent et à champ magnétique.



**Figure I.4** : moteur courant continu.

➤ **Types de Moteurs à Courant Continu :**

- **Avec Aimant Permanent** : Dans cette catégorie, le stator emploie des aimants permanents pour générer le champ magnétique. Cela facilite la conception et diminue le poids du moteur.

- **Dans un Champ Magnétique** : Ici, le champ magnétique est généré par des enroulements électromagnétiques dans le stator.

➤ **Fonctionnement :**

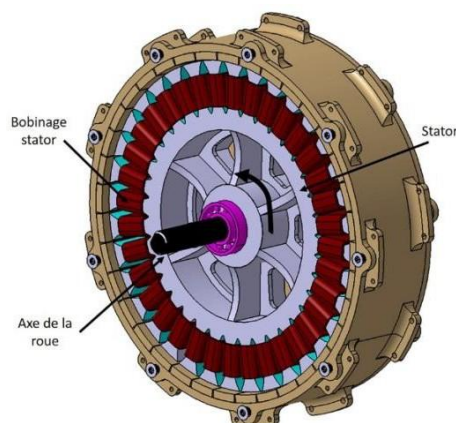
Le moteur à courant continu fonctionne grâce à l'interaction entre un champ magnétique créé par le stator et un courant continu circulant dans le rotor. Cette interaction génère une force qui fait tourner le rotor. Les balais et le collecteur assurent l'alimentation du rotor et inversent le courant pour maintenir la rotation dans le même sens.

**C. Moteurs Brushless (EC) :**

Les moteurs brushless (figure I.5), également appelés moteurs sans balais, sont une évolution des moteurs à courant continu traditionnels. Ils utilisent des aimants permanents dans le rotor et sont préférés pour leur longue durée de vie et leur faible entretien.

➤ **Fonctionnement :** un moteur brushless repose sur trois éléments clés : **le stator, le rotor et le contrôleur électronique.**

1. **Stator** : Le stator est la partie fixe du moteur et contient les bobines qui produisent le champ magnétique. Ces bobines sont alimentées de manière séquentielle pour créer un champ magnétique tournant.
2. **Rotor** : Le rotor est la partie mobile du moteur et est composé d'aimants permanents. Il cherche à s'aligner avec le champ magnétique du stator pour minimiser l'énergie potentielle magnétique.
3. **Contrôleur  lectronique** : Le contrôleur électronique remplace le collecteur et les balais des moteurs à courant continu traditionnels. Il utilise des capteurs pour détecter la position du rotor et commande la séquence d'alimentation des bobines statoriques pour maintenir un champ magnétique tournant qui reste en avance sur la position du rotor. Cela permet de générer un couple moteur continu et de faire tourner le rotor.



**Figure I. 5 :** moteur brushless.

**D. Moteur synchrone :**

Le moteur synchrone (figure I.6) est aussi un moteur utilisé pour la motorisation des ascenseurs. Ces dernières années ont vu ce type de moteur revenir en force parallèlement au développement des variateurs de vitesse.

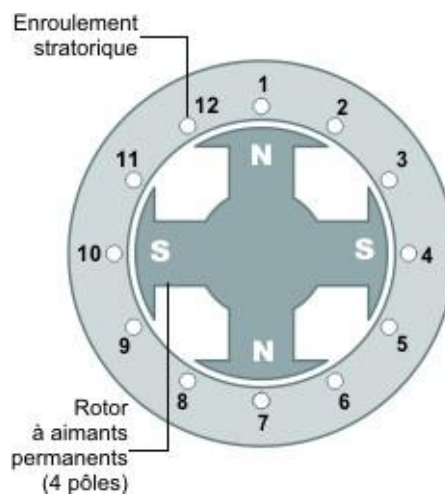
**➤ Principe de fonctionnement :**

Le moteur synchrone se compose, comme le moteur asynchrone, d'un stator et d'un rotor séparés par un entrefer. La seule différence se situe au niveau de la conception du rotor.

La figure ci-dessous montre un rotor à pôles saillants constitués d'aimants permanents ou d'électro-aimants alimentés en courant continu.

Après le démarrage, le moteur tourne en synchronisme avec le champ tournant. A vide les axes des pôles du champ tournant et du rotor sont confondus. En charge, les axes sont légèrement décalés. La vitesse du moteur synchrone est constante quelle que soit la charge. On notera aussi que :

- La charge (le système d'ascenseur) ne doit pas dépasser l'effort de démarrage entre le rotor et le champ tournant.
- Le couple moteur est proportionnel à la tension à ses bornes.



**Figure I-6 :** Moteur synchrone.

**I.3.2.2. Moteur thermique :**

Le moteur thermique, aussi appelé moteur à combustion, est l'élément central des véhicules qui l'utilisent. Il génère de l'énergie mécanique à partir de la combustion d'un mélange air-carburant, permettant ainsi d'entraîner les roues d'un véhicule.

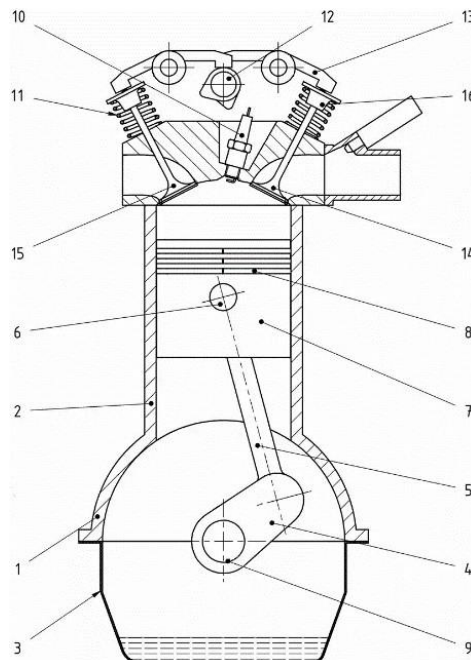
### A. Les composants du moteur thermique :

Un moteur thermique (figure I.7) se compose de trois principaux ensembles :

1. **L'équipage fixe** : constitué du bloc-moteur, qui renferme les autres éléments et est fermé par la culasse en haut et le carter d'huile en bas.
2. **L'équipage mobile** : comprend les pistons, les bielles et le vilebrequin. Chaque piston est relié à une bielle, elle-même fixée au vilebrequin, qui transforme le mouvement linéaire des pistons en mouvement rotatif.
3. **Les accessoires** : incluent l'alternateur, le démarreur, la pompe à huile et la pompe à eau, qui assurent le bon fonctionnement du moteur. [6]

Les éléments d'un moteur comme suit :

- 1.- Le banc.
- 2.- Le cylindre.
- 3.- Plateau, réservoir d'huile
- 4.- Le vilebrequin.
- 5.- Bielle
- 6.-Axe de piston
- 7.- Le piston.
- 8.- Bagues de compression
- 9.- Vilebrequin
- 10.- La bougie d'allumage
- 11.- Ressort de soupape
- 12.-Arbre à cames
- 13.- Culbuteur
- 14.- Soupape d'échappement
- 15.- Soupape d'aspiration
- 16.- Tête de soupape



**Figure I.7 :** Moteur thermique.

**B. Principe de fonctionnement d'un moteur thermique :**

Le moteur thermique fonctionne en brûlant un mélange air-carburant dans une chambre hermétique. Cette combustion provoque une dilatation des gaz, générant une pression qui pousse le piston et entraîne ainsi le mouvement du véhicule. Selon le type de moteur (deux temps ou quatre temps), le cycle peut varier.[7]

**I.3.2.3. Moteurs Hydrauliques :**

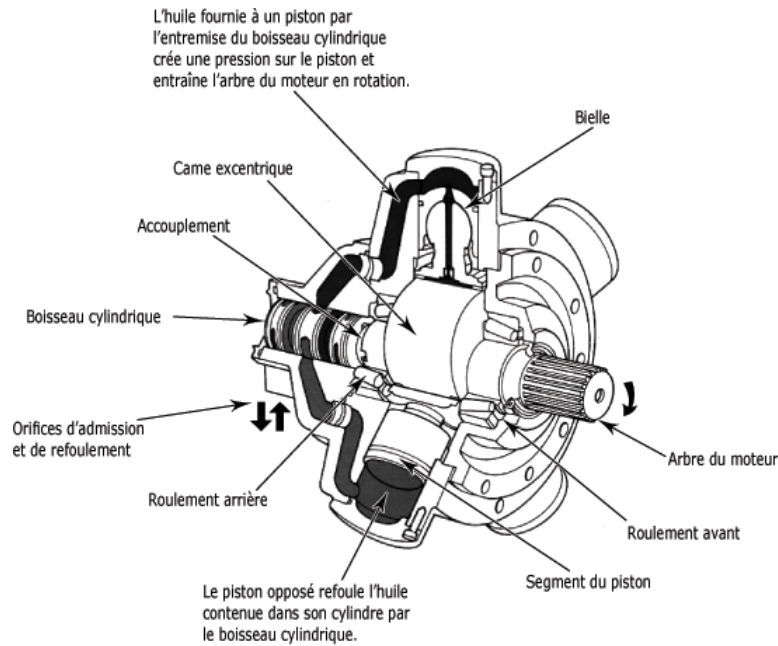
Les moteurs hydrauliques (figure I.8) sont des dispositifs mécaniques qui convertissent l'énergie hydraulique en énergie mécanique. Ils utilisent la pression des fluides pour générer un mouvement rotatif ou linéaire, selon le type de moteur.

Le principe de fonctionnement d'un moteur hydraulique est de convertir l'énergie hydraulique en énergie mécanique. Voici les étapes clés :

- **Pompe hydraulique** : Une pompe hydraulique aspire le fluide d'un réservoir et le pousse. Le fluide est acheminé vers le moteur.
- **Distribution du fluide** : le fluide sous pression entre dans le moteur par l'entrée. Les chambres de travail et les vannes dirigent le flux des fluides et le régulent.
- **Effet sur les pièces mobiles** : Le fluide pousse contre les pièces mobiles internes du moteur, par exemple, les pistons, les pales ou les engrenages. Cela pousse ces pièces à se déplacer.
- **Génération de mouvement mécanique** : Le mouvement des pièces mobiles provoque la rotation de l'arbre du moteur. Cette rotation est transmise aux charges mécaniques, où un travail utile est accompli.

Les moteurs hydrauliques sont couramment utilisés dans des applications où un couple élevé est nécessaire, telles que :

- **Systèmes de Levage** : Grues, ponts-roulants.
- **Presses** : Machines-outils pour le formage et le découpage.
- **Machines-Outils** : Tours, fraiseuses, perceuses.



**Figure I.8 :** moteur hydraulique.

#### I.3.2.4. Moteurs Pneumatiques :

Les moteurs pneumatiques convertissent l'énergie de l'air comprimé en mouvement mécanique rotatif. Ils sont largement utilisés dans des environnements industriels, notamment pour leur robustesse, leur réversibilité et leur adaptabilité aux variations de charge.

##### A. Moteur Pneumatique à Palettes :

Ce type de moteur est constitué des éléments suivants :

- **Rotor** : Pièce centrale qui tourne sous l'effet de l'air comprimé.
- **Palettes** : Lames mobiles insérées dans des fentes du rotor, qui coulissent en fonction de la pression d'air.
- **Stator** : Chambre fixe entourant le rotor, définissant l'espace dans lequel évoluent les palettes.

Comme illustre dans la figure (I.9) :



Figure I.9 : Moteur Pneumatique à Palettes.

➤ **Mode de Fonctionnement :**

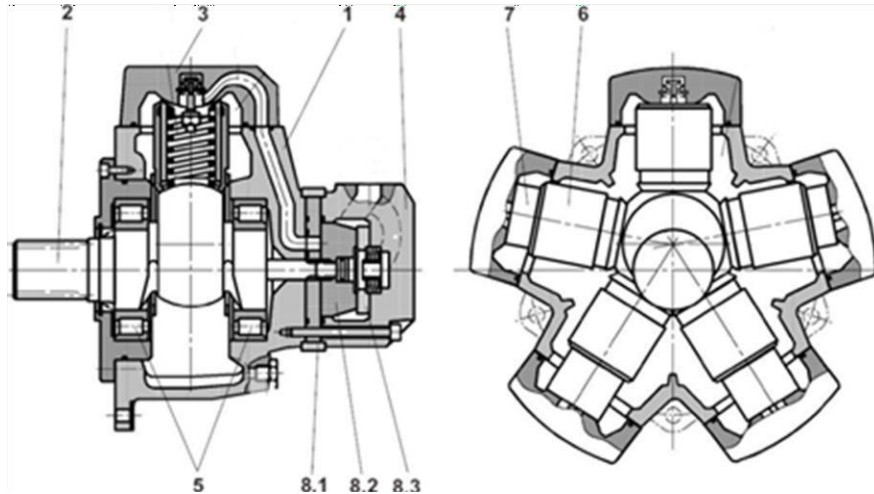
Le moteur à palettes fonctionne grâce à l'air comprimé qui pousse des palettes contre la paroi d'un cylindre, créant un déséquilibre de pression qui fait tourner un rotor. Les palettes glissent dans leurs fentes à chaque rotation pour former de nouvelles chambres étanches, grâce à la pression des ressorts à basse vitesse et à la force centrifuge à haute vitesse. La vitesse du moteur dépend du débit et de la pression de l'air comprimé. Ce type de moteur est particulièrement efficace à haute vitesse et faible couple, mais son rendement diminue à basse vitesse à cause des pertes par friction et des fuites d'air..[8]

**B. Moteur Pneumatique à Pistons Radiaux :**

Ce type de moteur comprend :

- **Pistons** : Disposés en étoile autour de l'axe central.
  - **Carter** : Enveloppe externe contenant les pistons et définissant le chemin de roulement.
  - **Bague de contrôle tournante** : Élément qui régule l'admission et l'échappement de l'air comprimé.

Comme illustre dans la figure (I.10) :



**Figure I.10 :** Moteur Pneumatique à Pistons Radiaux.

Les éléments de cette figure sont comme suivants :

- 1-le carter.
- 2-l'arbre excentrique.
- 3-les couvercles.
- 4-le boîtier de distribution.
- 5-les roulements.
- 6-les chemises.
- 7-les pistons.
- 8.1 ;8.2 ;8.3-la distribution.

➤ **Mode de Fonctionnement :**

Ce moteur utilise des pistons en étoile guidés dans un chanfrein usiné, sans vilebrequin ni bielle. Leur mouvement est assuré par un anneau de commande entraîné par un disque central, avec un arbre garantissant l'alimentation. L'air comprimé est admis et évacué alternativement, ce qui permet une rotation continue. Le sens de rotation peut être inversé instantanément en changeant les circuits d'air. Dans le modèle à une seule étape, trois pistons génèrent du couple dès le démarrage, comme un cylindre à simple effet. Les pistons utilisent des rouleaux en plastique robuste à roulements à billes, réduisant la friction et assurant un fonctionnement silencieux et durable. [9]

**I.3.3. Salle de compresseurs :****I.3.3.1. Salle de Compresseurs pour le Gaz :**

Une salle de compresseurs de gaz (figure I.11) est une installation essentielle destinée à accueillir et à assurer le bon fonctionnement des compresseurs utilisés pour la compression des gaz. Ces infrastructures sont particulièrement cruciales dans des secteurs tels que l'industrie pétrolière, gazière, chimique et pétrochimique, où la gestion des gaz sous pression est primordiale pour le transport, le stockage et les processus industriels.

**A. Importance des Salles de Compresseurs pour le Gaz :****• Compression et Transport des Gaz :**

- ✓ Les compresseurs permettent d'augmenter la pression des gaz afin de faciliter leur transport à travers des pipelines sur de longues distances.
- ✓ Ils sont utilisés pour diverses applications, notamment la distribution de gaz naturel, le stockage sous pression et les procédés industriels spécifiques.

**• Optimisation des Processus Industriels :**

- ✓ Dans les industries chimiques et pétrochimiques, les compresseurs de gaz jouent un rôle clé dans la transformation des hydrocarbures et d'autres substances volatiles.
- ✓ Ils sont conçus pour répondre aux exigences spécifiques de chaque industrie en termes de pression, de température et de débit.

**• Sécurité et Réglementation :**

- ✓ En raison des risques liés aux gaz sous pression (inflammabilité, toxicité, fuites potentielles), des normes strictes doivent être respectées pour assurer la sécurité des travailleurs et des installations.
- ✓ Des protocoles de surveillance et de maintenance réguliers sont mis en place pour garantir un fonctionnement optimal et prévenir les incidents.

**B. Équipements Clés d'une Salle de Compresseurs pour le Gaz :****1. Compresseurs de gaz :**

- ✓ Équipement mécanique qui augmente la pression du gaz pour permettre son transport ou son stockage.
- ✓ Différents types : compresseurs à piston, compresseurs à vis, compresseurs centrifuges ou compresseurs à membrane, selon l'application.

**2. Systèmes de refroidissement :**

- ✓ Nécessaire pour l'élimination de la chaleur générée par la compression et la prévention du risque de surchauffe.

- ✓ Utilisation de refroidisseurs à air ou à eau.

### 3. Filtres et Séparateurs :

- ✓ Filtrer les impuretés et l'humidité présentes dans le gaz avant et après compression.
- ✓ Protéger les équipements en aval contre la corrosion et le blocage.

### 4. Systèmes de régulation et vannes de sécurité :

- ✓ Contrôler la pression dans les niveaux de sécurité et prévenir les surpressions accidentelles.
- ✓ Faciliter le contrôle du débit et de la pression du gaz selon la demande de l'industrie.

### 5. Systèmes de Détection et de Surveillance :

- ✓ Ils incluent des capteurs de surveillance de la température, de la pression et de détection de la présence de fuites de gaz.
  - ✓ Être connecté à une station de contrôle pour une réponse rapide en cas d'anomalie.
- [10]



**Figure I. 11** : Une Salle de Compresseurs pour le Gaz.

#### I.3.3.1. Salle des Compresseurs d'Air :

Les salles de compresseurs d'air (figure I.12) jouent un rôle clé dans les installations industrielles, en fournissant de l'air comprimé aux différents processus nécessitant une alimentation en énergie pneumatique. Une conception optimale garantit l'efficacité, la durabilité et la sécurité des équipements.

### A. Importance d'une Salle de Compresseurs d'Air :

- **Fourniture d'Air Comprimé** : Les compresseurs sont utilisés pour générer et distribuer de l'air comprimé aux équipements industriels tels que les outils pneumatiques, les actionneurs et les systèmes de contrôle automatisés.
- **Optimisation de la Performance** : Une gestion efficace de la salle permet de réduire la consommation énergétique, d'améliorer la qualité de l'air fourni et d'assurer un fonctionnement fiable des équipements pneumatiques.
- **Sécurité et Maintenance** : Un bon aménagement minimise les risques de surchauffe, réduit le bruit et facilite l'accès pour l'entretien et les réparations.

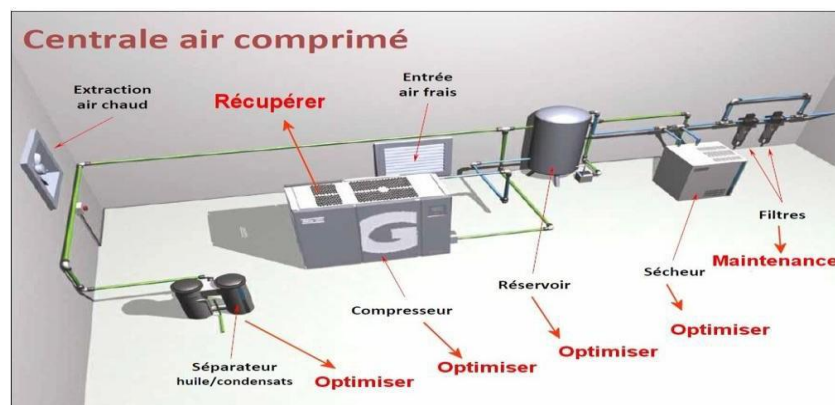


Figure I.12 : Salle des Compresseurs d'Air.

### I.3.4. Salle des Pompes :

Une salle des pompes industrielles peut être alimentée par diverses sources d'énergie, notamment l'électricité, l'hydraulique et la thermique. Voici une vue d'ensemble de ces systèmes :

#### I.3.4.1. Électrique :

##### A. Principe de fonctionnement :

Les pompes électriques (figure I.13) utilisent des moteurs électriques pour entraîner les pompes. Elles sont très courantes dans les installations industrielles en raison de leur simplicité et de leur efficacité.

##### B. Types de Pompes :

Les pompes centrifuges et submersibles sont souvent alimentées par des moteurs électriques. Ces pompes sont idéales pour des applications où la disponibilité d'énergie électrique est garantie. [11]

##### C. Avantage :

- Faible coût d'installation et faible entretien.

- Grande flexibilité dans les applications industrielles.



**Figure I.13:** pompe électrique.

### I.3.4.2. Hydraulique :

#### A. Principe :

Les systèmes hydrauliques utilisent un fluide pour transmettre la pression nécessaire au fonctionnement des pompes. Ces systèmes sont souvent utilisés dans des applications nécessitant une grande force ou une précision élevée.

#### B. Types de Pompes :

Les pompes hydrauliques (figure I.14) peuvent être utilisées pour alimenter des pompes volumétriques, comme les pompes à piston ou à diaphragme, qui sont capables de gérer des fluides à haute pression.

**C. Avantages :** Capacité à gérer des charges lourdes et à fournir une pression constante.



**Figure I.14 :** Pompes hydrauliques.

### I.3.4.3. Thermique :

#### A. Principe :

Les pompes thermiques (Figure I.15) utilisent l'énergie thermique pour entraîner les pompes. Cela peut inclure des moteurs à combustion interne ou des turbines à vapeur.

#### B. Types de Pompes :

Ces systèmes sont moins courants dans les salles des pompes industrielles mais peuvent être utilisés dans des applications spécifiques où l'énergie thermique est disponible, comme dans les centrales thermiques.

#### C. Avantage :

Peuvent être utilisés dans des zones où l'énergie électrique est limitée ou coûteuse.



Figure I.15 : Pompe thermique.

### I.3.5. Salle de Distribution (Électriques) :

La salle de distribution électrique constitue un espace dédié à la gestion et à la répartition de l'électricité au sein d'une installation industrielle ou tertiaire. Elle regroupe l'ensemble des équipements qui permettent de transformer, protéger et distribuer l'énergie électrique vers les différents circuits ou zones de consommation. Cette salle est conçue pour garantir :

- ❖ **Efficacité** dans la transmission et la répartition de l'énergie.
- ❖ **Sécurité** pour les utilisateurs et le matériel, en respectant les normes électriques en vigueur.
- ❖ **Fiabilité** du système grâce à des dispositifs de protection intégrés.

Les principaux équipements présents dans cette salle incluent notamment les transformateurs, les armoires électriques, les onduleurs et les tableaux de distribution.

### I.3.5.1. Transformateurs :

Les transformateurs jouent un rôle essentiel dans la gestion de l'électricité. Ils permettent de modifier les niveaux de tension en fonction des besoins de l'installation. Leur fonctionnement repose sur le principe de l'induction électromagnétique :

- **Fonctionnement** : Ils "transforment" une tension élevée en tension plus basse (ou inversement) afin d'adapter l'énergie aux équipements consommateurs.
- **Utilité** : Ils assurent une distribution optimale, minimisent les pertes d'énergie et permettent d'isoler les réseaux pour une meilleure sécurité.
- **Applications** : Utilisés tant dans la distribution d'énergie depuis le réseau public que dans la régulation interne des installations industrielles ou tertiaires.

### I.3.5.2. Armoires Électriques :

Les armoires électriques (figure I.16), également appelées coffrets ou panneaux de contrôle, sont des enceintes métalliques qui abritent l'ensemble des dispositifs de protection et de commande pour la distribution de l'électricité :

- **Contenu** : Elles intègrent des disjoncteurs, des fusibles, des relais, ainsi que des jeux de barres (busbars) permettant d'interconnecter les différents circuits.
- **Fonction principale** : Protéger les installations contre les surcharges, les court-circuités et autres anomalies électriques, tout en permettant la gestion et le contrôle des circuits.
- **Organisation** : Elles offrent une répartition structurée des circuits, facilitant ainsi la maintenance et la surveillance de l'ensemble de l'installation.



**Figure I.16** : Armoire électrique.

### I.3.5.3. Onduleurs :

Les onduleurs sont des dispositifs électroniques dont la mission principale est de convertir le courant continu (CC) en courant alternatif (CA) :

- **Rôle** : Ils permettent d'alimenter des équipements qui nécessitent du courant alternatif à partir de sources en courant continu, telles que des batteries ou des installations photovoltaïques.
- **Avantages** : Fournir une alimentation stable, permettre la gestion d'énergie en cas de coupure ou de fluctuation, et intégrer des systèmes de secours dans les installations critiques.
- **Applications** : Essentiels dans les systèmes d'alimentation ininterrompue (UPS), les centrales solaires ou toute installation nécessitant une conversion efficace de l'énergie

### I.3.5.4. Tableaux de Distribution :

Les tableaux de distribution, aussi appelés tableaux de distribution basse tension ou tableaux de câblage (DB), sont des éléments fondamentaux dans la répartition de l'électricité :

- **Fonction** : Ils reçoivent l'énergie provenant de la source principale (par exemple, un transformateur) et la redistribuent en plusieurs circuits, chacun étant protégé contre les surcharges et les courts-circuits.
- **Éléments intégrés** : En plus des dispositifs de coupure (disjoncteurs ou fusibles), ces tableaux regroupent souvent des systèmes de surveillance et d'indication qui facilitent l'identification des anomalies et la gestion de la maintenance.
- **Importance** : Leur conception permet d'assurer la continuité de l'alimentation électrique tout en offrant la possibilité d'isoler rapidement un circuit en cas de problème, ce qui contribue grandement à la sécurité globale de l'installation.

### A. Fonctionnement du Tableau de Commande Industriel :

L'alimentation du système est sécurisée par un interrupteur de déconnexion et un disjoncteur qui protègent et distribuent l'énergie à divers équipements. Ces derniers protègent également l'installation contre les courts-circuits ou les surcharges.

Au cœur du système de contrôle se trouve un automate programmable industriel (API). Il exécute des instructions préprogrammées qui lui permettent de contrôler les machines et le processus en conséquence, en fonction des informations reçues.[12]

Il exécute des instructions préprogrammées qui lui permettent de contrôler les machines et de traiter les informations reçues en conséquence. Les capteurs et les dispositifs d'entrée jouent un rôle crucial en fournissant à l'API des informations en temps réel sur l'état du système.[12]

Les capteurs et les dispositifs d'entrée jouent un rôle crucial en fournissant à l'API des informations en temps réel sur l'état du système. En agissant sur ces informations, l'API décide et donne des instructions aux actionneurs comme les moteurs ou les vannes pour le bon fonctionnement du système.[12]

Le système entier est contrôlé par l'opérateur via une interface homme-machine (IHM). Grâce à l'interface, la visualisation des données, la surveillance des conditions de fonctionnement et, si nécessaire, l'ajustement de certains paramètres afin d'optimiser le processus sont effectués. [13]

En cas de défaillance ou d'anomalie diagnostiquée, le panneau de contrôle déclenche des alarmes visuelles et sonores. Il a également la capacité de couper automatiquement l'alimentation pour protéger l'équipement et prévenir les blessures au personnel.

Le tableau de commande est montré dans la (figure I.17) au-dessus :



**Figure I.17 :** Tableau de commande.

### **I.3.6. Groupe Électrogène :**

Le Groupe Électrogène est un dispositif autonome conçu pour produire de l'électricité indépendamment du réseau. C'est une solution vitale dans les situations où la continuité de l'approvisionnement électrique est d'une importance capitale, comme dans les hôpitaux, les centres de données, les installations industrielles ou les activités de construction. Il est également essentiel dans les zones reculées ou en cas de défaillance du réseau principal, garantissant ainsi un approvisionnement énergétique continu. [14]

#### **I.3.6.1. Contenu d'un Groupe Électrogène :**

Un groupe électrogène se compose de quelques composants essentiels qui interagissent pour générer de l'électricité fiable et continue.

##### **A. Moteur à combustion interne :**

Le moteur thermique fournit l'énergie mécanique nécessaire au fonctionnement de l'unité. Il peut être alimenté par plusieurs types de carburants en fonction des besoins :

**Essence** : utilisée dans de petites unités portables, généralement pour un usage domestique ou occasionnel.

**Diesel** : plus robuste et plus économique à long terme, conçu pour des applications industrielles ou une période d'utilisation prolongée.

**Le gaz naturel ou le GPL** : offre une alternative plus propre, généralement utilisée pour des applications fixes avec des limitations environnementales fixes avec des limitations environnementales.[14]

### **B. Alternateur :**

L'alternateur convertit l'énergie mécanique fournie par le moteur en énergie électrique. Il est composé d'un rotor (partie mobile) et d'un stator (partie fixe), qui, grâce à l'interaction électromagnétique, génèrent un courant alternatif régulier.[15]

### **C. Système de régulation :**

Le régulateur de tension assure une alimentation électrique stable en régulant une tension et une fréquence fixes (typiquement 230 V / 50 Hz ou 400 V / 50 Hz). Il protège les équipements connectés des fluctuations de tension qui peuvent les endommager.

### **D. Panneau de Contrôle et de Surveillance :**

Le panneau se compose de plusieurs instruments de mesure et de régulation :  
**Voltmètre** : mesure la tension fournie.

**Compteur de fréquence** : indique la fréquence du courant fourni.

**Compteur d'heures** : enregistre le temps de fonctionnement pour planifier la maintenance.

**Indicateurs et alarmes** : signalent des anomalies telles que la surchauffe, le faible niveau de carburant ou une panne.[15]

### **E. Réservoir de carburant :**

Le réservoir fournit le moteur en carburant. Sa capacité dépend de l'autonomie requise, allant de quelques litres pour les petits modèles à plusieurs centaines de litres pour les groupes industriels. Pour éviter la surchauffe, un système de refroidissement à air ou à liquide est incorporé. Le système d'échappement, quant à lui, expulse les gaz de combustion, dans certains cas avec un silencieux pour réduire la pollution sonore.[14]

### **I.3.6.2. Principe de fonctionnement :**

Un groupe électrogène fonctionne grâce à une chaîne de conversion d'énergie. Le moteur est démarré par un démarreur manuel ou électrique. Après, il brûle du carburant pour produire une énergie mécanique constante.[16]

Cette énergie mécanique est transférée à l'alternateur, dont le rotor en rotation génère un champ magnétique et induit ainsi un courant alternatif dans le stator.[15]

Le régulateur de tension ajuste la sortie électrique pour fournir un approvisionnement constant, nécessaire pour des appareils sensibles.

La puissance produite est ensuite fournie au tableau électrique principal ou même directement aux charges. Plusieurs unités sont équipées d'un commutateur de transfert automatique (ATS), qui permet un basculement immédiat et autonome en cas de coupure de réseau.[15]

### I.3.6.3. Utilisation dans la salle électrique :

Le groupe électrogène (figure I.18) joue un rôle stratégique dans les salles électriques pour garantir l'alimentation électrique des installations.

**Alimentation de secours :** en cas de panne du réseau, le groupe compense automatiquement pour éviter toute interruption, notamment dans les secteurs sensibles (santé, télécommunications, industrie).

**Mobilité et flexibilité :** selon les besoins à satisfaire, le groupe peut être fixe ou mobile, permettant une installation temporaire sur les chantiers ou lors d'événements spécifiques.

**Polyvalence :** dans plusieurs niveaux de puissance, ils peuvent répondre à différentes exigences, de quelques kilowatts à quelques mégawatts.[15]

Les éléments de groupe électrogène sont les suivants :

- 1-Disjoncteurs
- 2-Panneau de contrôle
- 3-Protecteurs
- 4-Régulateur de tension
- 5-Moteur
- 6-Isolateur de vibrations
- 7-Base de réservoir
- 8-Démarrreur de moteur,  
Batteries et câbles
- 9-Alternateur
- 10-Filtres
- 11-Câblage

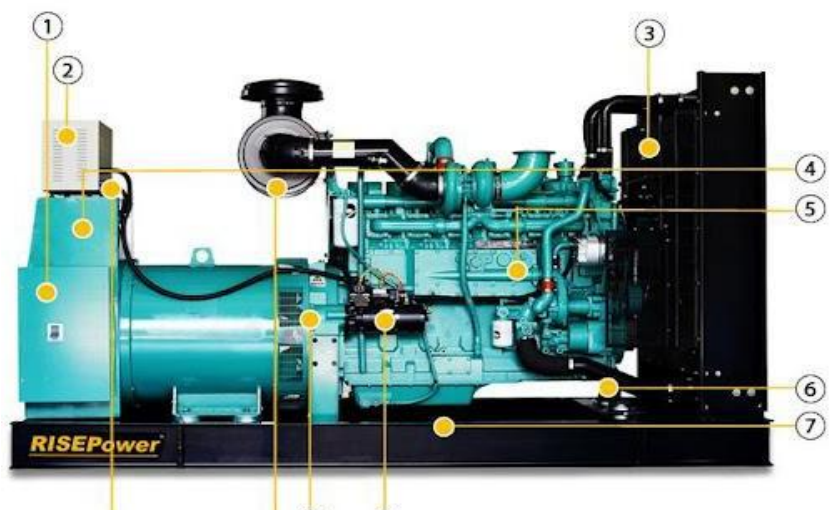


Figure I.18 : Groupe Électrogène.

## I.4. Enjeux de la sécurisation des salles machines industrielles :

Les salles machines industrielles sont le cœur névralgique de nombreuses opérations de production. Elles abritent des équipements complexes et puissants, indispensables au fonctionnement des usines. Cependant, cette concentration de machines et d'énergie s'accompagne de risques significatifs pour la sécurité des travailleurs et l'intégrité des installations. Une compréhension approfondie de ces risques est essentielle pour mettre en œuvre des mesures de prévention efficaces.

### I.4.1. Risques liés aux salles machines industrielles :

#### I.4.1.1. Risques d'incendie : un danger omniprésent et multiforme :

Les incendies (Figure I-19) peuvent avoir des origines multiples, souvent liées à la nature des équipements et des substances présentes.

##### A. Causes détaillées et spécifiques :

- Surchauffe des transformateurs : due à des surcharges prolongées, un défaut de refroidissement ou un vieillissement de l'isolant. [17]
- Arcs électriques : provoqués par des courts-circuits, des défauts d'isolation ou des connexions lâches. [17]
- Fuites de liquides inflammables : huiles de lubrification, solvants, liquides hydrauliques, qui peuvent s'enflammer au contact d'une source de chaleur.
- Accumulation de poussières combustibles : dans les environnements de travail du bois, du textile ou de la métallurgie, ces poussières peuvent s'enflammer et provoquer des explosions.
- Travaux de maintenance à chaud : soudage, meulage, découpe, qui génèrent des étincelles et des projections incandescentes.
- Défaillance des systèmes de protection incendie : détecteurs de fumée hors service, extincteurs périmés, sprinklers obstrués. [17]



**Figure I.19** : un incendie dans une salle machine industrielle.

**B. Conséquences aggravées :**

- Arrêt complet de la production : avec des pertes financières considérables, des retards de livraison et une atteinte à la réputation de l'entreprise.
- Risques pour la santé : inhalation de fumées toxiques, brûlures graves, traumatismes.
- Impacts environnementaux durables : contamination des sols et des eaux, émissions de polluants atmosphériques. [18]

**I.4.1.2. Risques de surchauffe : un processus insidieux :**

La surchauffe peut être le résultat d'une accumulation progressive de chaleur, souvent difficile à détecter.

**A. Causes spécifiques et approfondies :**

- Mauvaise conception de la ventilation : insuffisance de débit d'air, obstructions, mauvais emplacement des extracteurs.
- Surcharge des équipements : fonctionnement au-delà des capacités nominales, augmentation de la charge de travail.
- Défaillance des systèmes de refroidissement : pompes défectueuses, échangeurs de chaleur encrassés, fuites de réfrigérant.
- Conditions ambiantes extrêmes : températures élevées en été, manque d'isolation thermique.
- Encrassement des filtres et échangeurs : réduction de l'efficacité du refroidissement, augmentation de la consommation d'énergie. [17]

**B. Impacts insidieux sur les équipements :**

- Vieillesse prématurée des composants électroniques : réduction de la fiabilité et de la durée de vie.
- Déformation des pièces mécaniques : altération des tolérances, blocages, pannes.
- Risque d'emballage thermique des batteries : explosions, incendies, dégagement de gaz toxiques. [18]

**I.4.1.3. Risques de fuite de fluides : une menace multiple :**

La diversité des fluides utilisés dans les salles machines entraîne une variété de risques.

**A. Types de fluides et leurs dangers spécifiques :**

- Huiles hydrauliques : risques de glissade et de chute, incendies en cas de contact avec une source de chaleur, pollution des sols et des eaux.

- Liquides de refroidissement : brûlures chimiques, corrosion des équipements, pollution des eaux.
- Gaz (naturel, propane, ammoniac) : explosions, intoxications, asphyxie.
- Produits chimiques (acides, bases, solvants) : brûlures chimiques, intoxications, réactions dangereuses. [19]

L'exemple de fuite est montré au-dessus (figureI.20)



**Figure I.20** : Une Fuite de fluides.

#### **B. Causes des fuites et leurs spécificités :**

- Usure des joints et tuyaux : due à la corrosion, aux vibrations, aux variations de température. [18]
- Mauvaise maintenance : desserrages, ruptures, erreurs de montage.
- Chocs mécaniques : dommages accidentels aux tuyauteries, aux réservoirs.
- Surpression : dysfonctionnement des régulateurs, des soupapes de sécurité. [19]

#### **I.4.1.4. Risques de pannes électriques : une perturbation majeure :**

Les pannes électriques (figureI.21) peuvent avoir des conséquences en cascade, affectant l'ensemble de la production.

##### **A. Types de pannes et leurs causes précises :**

- Coupures de courant : surcharges, courts-circuits, défauts sur le réseau électrique.
- Défaillance des dispositifs de protection : disjoncteurs, fusibles, relais, qui ne fonctionnent pas correctement.
- Dommages aux câbles : usure, rongeurs, travaux de maintenance.

- Défaillance des équipements électriques : transformateurs, moteurs, armoires de commande, due à la surchauffe, à la corrosion, à l'humidité. [17]



**Figure I.21:** Risques de pannes électriques.

### **B. Conséquences sur la production et la sécurité :**

- Arrêt brutal des machines : pertes de production, retards de livraison, non-conformités.
- Perte de données : fichiers corrompus, perte de configurations, nécessité de restaurations.
- Dommages aux équipements électroniques : cartes électroniques grillées, systèmes de contrôle hors service.
- Risques d'électrocution : lors des opérations de maintenance ou de dépannage.

#### **I.4.1.5. Autres risques à considérer :**

- **Risques mécaniques** : liés aux mouvements des machines, aux projections de pièces, aux chutes d'objets. [20]
- **Risques thermiques** : brûlures par contact avec des surfaces chaudes, exposition à des températures extrêmes. [18]
- **Risques liés au bruit et aux vibrations** : surdité, troubles musculo-squelettiques, fatigue. [18]

#### **I.4.2. Réglementation et normes de sécurité des salles machines industrielles :**

Les salles machines industrielles regroupent des équipements essentiels à la production, et leur sécurisation repose sur le respect de normes strictes et à des normes nationales et internationales. La mise en œuvre de ces normes vise à réduire les risques liés aux installations électriques, à la survenue d'incendies et d'explosions, et, de plus en plus, à sécuriser l'accès physique et informatique des installations dans un environnement numérique connecté.

**I.4.2.1. Normes électriques et protection contre les risques électriques :****➤ Cadre réglementaire et référentiels :****• Norme NF C 15-100 (France) :**

- Cette norme fixe les exigences pour les installations basses tension. Elle définit le dimensionnement des circuits, le choix et l'implantation des équipements, ainsi que les règles de mise à la terre indispensables pour limiter les risques d'électrocution et d'incendie.
- Par exemple, elle impose des critères pour la séparation des circuits critiques et la protection des personnes par la mise en place de dispositifs différentiels (DDR) et de dispositifs de coupure.

**• Normes internationales (IEC 60204-1, IEC 60364, IEC 61439) :**

- **IEC 60204-1** spécifie les exigences de sécurité des machines et équipements électriques industriels, notamment en matière d'isolation, de protections contre les surintensités et les courts-circuits.
- **IEC 60364** couvre les installations électriques basse tension à l'échelle internationale et sert de référence pour harmoniser les pratiques.
- **IEC 61439** s'applique aux ensembles d'appareillages et tableaux électriques, garantissant leur robustesse et leur conformité lors de l'assemblage.

**➤ Mesures de protection mises en œuvre****• Dispositifs de coupure et protection :**

- **Disjoncteurs et fusibles** : Ces dispositifs assurent une coupure automatique en cas de surcharge ou de court-circuit, protégeant ainsi les installations et les opérateurs.
- **DDR (Dispositifs Différentiels Résiduels)** : Ils détectent toute fuite de courant et coupent l'alimentation rapidement pour prévenir les risques d'électrocution.

**• Isolation et compartimentage :**

- Le renforcement de l'isolation des conducteurs (utilisation de matériaux spécifiques) permet de prévenir les défaillances électriques.
- Le compartimentage des circuits dans des armoires dédiées limite la propagation d'un défaut électrique à l'ensemble de l'installation.

- **Maintenance préventive et contrôles réguliers :**
  - Des inspections périodiques (au minimum annuelles) et des tests d'isolement permettent de s'assurer de la conformité des installations.
  - La vérification des résistances de terre et la mise à jour des schémas électriques font partie intégrante d'un plan de maintenance rigoureux.
- **Mesures spécifiques en environnement à haut risque :**
  - Dans les zones où la présence de poussières ou de liquides inflammables est élevée, des solutions comme la double isolation, l'emploi de câbles résistants aux hautes températures ou la ventilation forcée sont appliquées pour réduire le risque de surchauffe.

#### I.4.2.2. Normes de protection incendie et explosion :

##### ➤ Principes de prévention incendie :

- **Systèmes de détection et d'alarme :**
  - Installation de détecteurs de fumée, de chaleur et de gaz qui, interconnectés, permettent une alerte précoce.
  - Ces systèmes incluent souvent des dispositifs de communication automatique avec les services d'urgence pour une intervention rapide.
- **Systèmes de lutte contre l'incendie :**
  - **Extincteurs adaptés :** Des extincteurs portatifs adaptés aux différents types de feux (électriques, liquides, solides) sont répartis dans les zones critiques.
  - **Sprinklers et systèmes automatiques :** Ces dispositifs se déclenchent automatiquement dès la détection d'un départ de feu, réduisant ainsi l'extension de l'incendie.
  - **Systèmes de brouillard d'eau :** Particulièrement efficaces pour limiter les dégâts en réduisant rapidement la température ambiante.
- **Aménagement des locaux :**
  - Utilisation de matériaux ininflammables pour les murs, sols et plafonds, ainsi que la mise en place de cloisons coupe-feu.
  - Conception de voies d'évacuation larges et dégagées, clairement signalées et régulièrement vérifiées pour permettre une sortie rapide en cas d'urgence.

**➤ Protection contre les atmosphères explosives :****• Classification ATEX :**

- Les zones susceptibles de contenir des atmosphères explosibles (gaz, vapeurs, poussières) sont classifiées en fonction du risque (par exemple, Zone 0, 1 et 2 pour les gaz, Zone 20, 21 et 22 pour les poussières).
- Cette classification impose l'utilisation d'équipements certifiés ATEX, conçus pour ne pas produire d'étincelles ou de sources de chaleur susceptibles de provoquer une explosion.

**• Systèmes de ventilation et détection des concentrations :**

- Des systèmes de ventilation forcée et des capteurs de gaz permettent de diluer et de détecter en continu les concentrations de substances dangereuses.
- L'objectif est de prévenir toute accumulation pouvant conduire à une situation explosive.

**• Procédures d'intervention et formation :**

- Élaboration de plans d'urgence détaillés, incluant des protocoles d'évacuation et des instructions précises en cas de détection d'un incident.
- La formation régulière des personnels sur la manipulation des extincteurs et l'utilisation des dispositifs d'arrêt d'urgence est indispensable.

**• Audits et certifications :**

- Les installations sont régulièrement inspectées par des organismes agréés qui vérifient la conformité aux normes ATEX et aux autres exigences de sécurité incendie.

**I.4.2.3. Normes de contrôle d'accès et cybersécurité :****➤ Contexte et nécessité :**

Avec l'avènement de l'industrie 4.0 et la digitalisation des processus industriels, les salles machines intègrent désormais des systèmes de contrôle d'accès et des réseaux informatiques pour la surveillance et la gestion des équipements. Cette interconnexion expose les installations à des cyberattaques et à des intrusions physiques, nécessitant des mesures de sécurité renforcées.

➤ **Cadre réglementaire et référentiels :**• **IEC 62443 :**

- Cette norme internationale établit un cadre de sécurité pour les systèmes d'automatisation industrielle, précisant les exigences pour protéger les réseaux et les dispositifs de contrôle contre les cybermenaces.

• **ISO/IEC 27001 :**

- La norme ISO/IEC 27001 définit les exigences pour un système de management de la sécurité de l'information (SMSI), garantissant la protection des données sensibles et la continuité des opérations critiques.

• **Directives du NIST (National Institute of Standards and Technology) :**

- Le NIST propose des guides et des bonnes pratiques pour la gestion des risques informatiques dans les environnements industriels, notamment la segmentation des réseaux et la surveillance des systèmes.

➤ **Mesures de contrôle d'accès et cybersécurité :**• **Contrôle d'accès physique :**

- **Systèmes d'identification :** L'utilisation de badges, de la biométrie ou de verrous électroniques permet de limiter l'accès aux zones sensibles uniquement au personnel autorisé.
- **Surveillance vidéo et alarmes :** Des caméras de sécurité et des systèmes d'alarme détectent toute intrusion physique, assurant ainsi une traçabilité et une intervention rapide en cas d'infraction.

• **Sécurité des systèmes informatiques et réseaux :**

- **Segmentation des réseaux :** Les réseaux de contrôle industriel sont isolés du reste de l'infrastructure informatique pour réduire les risques d'intrusion.
- **Pare-feu et systèmes IDS/IPS :** L'installation de pare-feu et de dispositifs de détection et de prévention des intrusions contribue à sécuriser l'accès aux systèmes critiques.
- **Mises à jour régulières et gestion proactive des vulnérabilités :** La maintenance logicielle continue, incluant les mises à jour de sécurité, est essentielle pour pallier les failles potentielles.

• **Gestion des identités et des accès (IAM) :**

- Mise en place de politiques strictes pour la création, la gestion et la suppression des comptes utilisateurs.

- Attribution de droits d'accès basés sur les rôles (principe du moindre privilège) afin de limiter les risques de compromission.
- **Formation et sensibilisation :**
  - Programmes de formation continue pour les opérateurs et le personnel de maintenance sur les bonnes pratiques en matière de cybersécurité et sur les procédures d'urgence en cas d'attaque.
  - Simulations d'attaques et exercices de réponse afin d'optimiser la réactivité de l'équipe en cas de cyberincident.
- **Audits, tests de pénétration et veille technologique :**
  - Réalisation régulière d'audits de sécurité, de tests d'intrusion et d'analyses de risques afin d'évaluer l'efficacité des mesures mises en place.
  - Une veille technologique constante permet d'adapter rapidement les dispositifs de sécurité aux nouvelles menaces et aux évolutions réglementaires.

**I.5. Conclusion :**

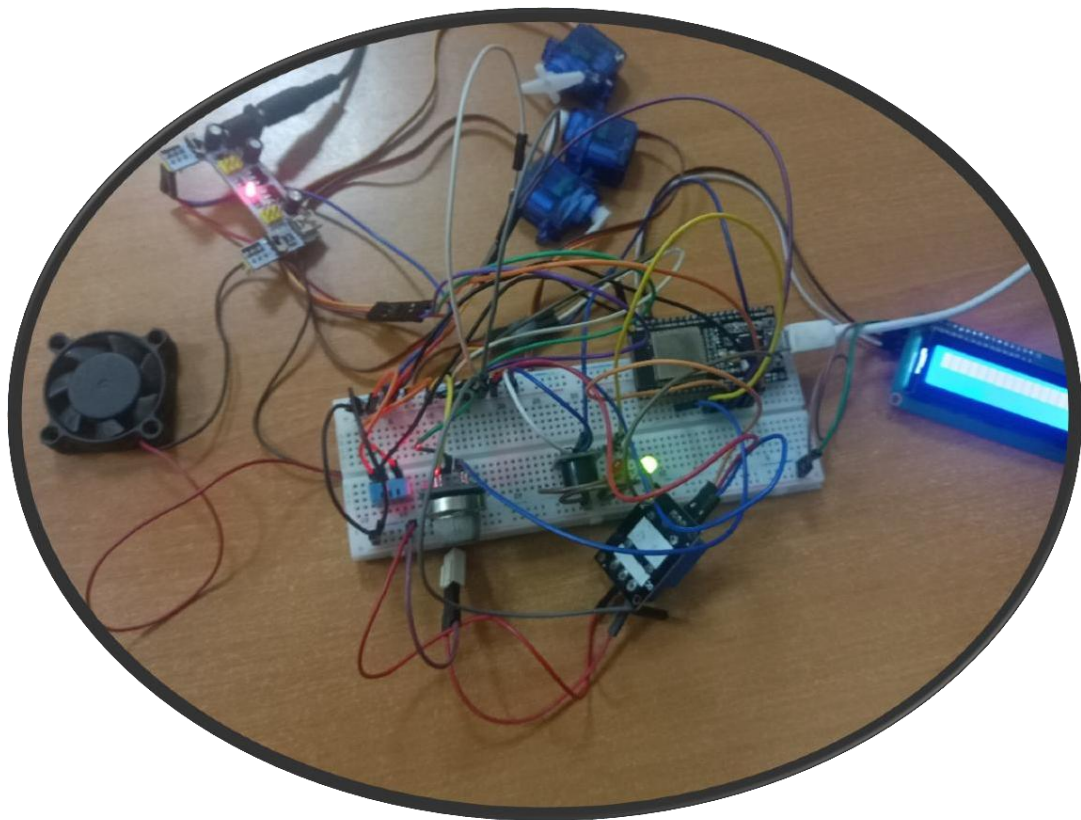
Les salles de machines d'usine sont impératives pour l'entretien et l'ajustement des processus de production.

Tout au long de ce chapitre, nous avons souligné la diversité des équipements qu'ils détiennent moteurs électriques, générateurs, compresseurs, pompes et l'importance cruciale qu'ils passent par une conception appropriée avec pour objectifs d'améliorer leur efficacité, leur longévité et leur sécurité. Nous avons également déterminé les risques les plus significatifs causés par leur fonctionnement, y compris les incendies, la surchauffe, les fuites de fluides et les pannes électriques, ainsi que les moyens normatifs et réglementaires nécessaires pour les contrôler.

Les normes de sécurité électrique, la sécurité incendie, la prévention des explosions et la cyber sécurité des installations elles-mêmes sont devenues des préoccupations majeures de nos jours en raison de l'industrialisation accrue et de la numérisation croissante. Ainsi, une zone technique ne peut pas être définie comme une salle de machines industrielles ; c'est un espace stratégique qui nécessite une expertise multidisciplinaire en ingénierie mécanique, ingénierie électrique, sécurité et informatique industrielle. Il doit y avoir une gestion efficace de ces espaces pour assurer la continuité des processus industriels, la sécurité des personnes, la protection des biens et la prise en compte de l'environnement.

# Chapitre II

## Cartes et matériel utilisés



**II.1. Introduction :**

Ce chapitre présente les principaux éléments du projet de surveillance et de sécurité d'une salle machine. Il décrit d'abord les éléments matériels clés, tels que la carte ESP32, les modules de communication Bluetooth et Wi-Fi, ainsi que les capteurs, de gaz (MQ2) et de température. L'environnement de développement Arduino ainsi que l'application mobile destinée à la détection des fuites de gaz sont aussi discutés.

Le chapitre décrit ensuite la configuration du système, conçu pour garantir la sécurité et le suivi en temps réel de la salle des machines, notamment grâce à la détection d'intrusions et à l'automatisation de certains équipements (compresseurs, ventilateurs, électrovannes, etc.).

Finalement, il présente une typologie des capteurs et des actionneurs employés, tout en introduisant le contexte industriel des salles de machines à compresseurs de gaz et leurs besoins particuliers en termes de sécurité et d'automatisation.

**II.2. Problématique du projet :**

Les salles machines jouent un rôle crucial dans l'industrie car elles abritent des équipements essentiels au fonctionnement des installations, tels que les compresseurs, moteurs, générateurs et systèmes de contrôle. Cependant, ces environnements techniques sont exposés à plusieurs risques, notamment les fuites de gaz, les incendies, les accès non autorisés et les surchauffes. Face à ces dangers potentiels, comment peut-on garantir la sécurité optimale de ces salles tout en assurant la continuité de leur fonctionnement ?

**II.2.1. Le but du projet :**

L'objectif principal de ce projet est de concevoir et mettre en œuvre un système intelligent de sécurité, de surveillance et de contrôle à distance pour une salle machine contenant des compresseurs de gaz, en utilisant des technologies de l'Internet des Objets (IOT).

Ce système vise à :

- Détecter automatiquement les fuites de gaz et surveiller la température et l'humidité ambiante grâce à des capteurs spécifiques (MQ2, DHT11).
- Alerter en temps réel l'utilisateur via une application mobile en cas de détection d'anomalie.
- Commander à distance les actionneurs (électrovannes, ventilateurs, moteurs, relais) pour réagir rapidement aux situations critiques.
- Fournir une supervision visuelle de la salle via une caméra de surveillance connectée (ESP32-CAM).
- Centraliser la gestion des équipements de la salle machine à travers une carte ESP32 intégrant le Wi-Fi.

- Renforcer la sécurité d'accès à la salle grâce à un système RFID.

L'ensemble du système est conçu pour améliorer la sécurité, la fiabilité et l'automatisation des salles techniques industrielles, tout en permettant un suivi à distance via smartphone ou réseau web.

## **II.2.2. Présentation du système étudié ainsi que son architecture :**

### **II.2.2.1. Présentation du système :**

Ce projet a pour but de proposer dans un premier temps un service de sécurité pour les salles machine. Par la suite il pourra s'étendre à un contrôle global des différents éléments d'une salle machine (compresseur à gaz, compresseur d'air, etc..).

Une webcam (ESP32-CAM) tournera dans la salle machine. En cas de détection d'intrusion (de mouvement),

Ce système sert à voir en temps réel ce qui se déroule dans sa salle machine de compresseur à gaz. Peut également à tout moment se connecter et observer ce qui se déroule dans la salle machine. Le système conçu comporte un bloc principal constitué d'une carte à microcontrôleur du type Esp32 relié à un système de communication de type WIFI, Bluetooth et il est commandé par une application Android. On sera alerté par un message sur smart phone en cas d'une fuite de gaz ou surchauffe Cette carte est connectée à un ensemble de périphériques constitués de capteurs et d'actionneurs. et la porte est sécurisée par RFID.

### **II.2.2.2. L'architecture du projet :**

Le projet vise à assurer la sécurité d'une salle machine contenant des compresseurs de gaz, en intégrant la détection de fuites de gaz, la surveillance de la température, l'automatisation de l'aération et la possibilité de supervision à distance via une application mobile. L'architecture repose sur une carte microcontrôleur ESP32, des capteurs (gaz, température), des actionneurs (électrovanne, relais, ventilateur, moteur CC), et des modules de communication sans fil (Bluetooth, Wi-Fi).

### **Composants principaux :**

- **Carte ESP32** : Le cœur du système, chargé de collecter les données des capteurs, de piloter les actionneurs, et d'assurer la communication avec l'application Android via Bluetooth ou Wi-Fi.
- **Carte ESP32-CAM** : Surveillance en temps réel de notre système
- **Capteurs** :
  - ✓ **Capteur de gaz MQ2** : Détecte les fuites de gaz (H2, GPL, CH4, CO, etc.) et transmet les alertes à l'ESP32.
  - ✓ **Capteur de température DHT11** : Surveille l'environnement de la salle machine pour prévenir tout risque lié à la température.

✓ **RFID** : permet d'identifier des objets ou des personnes à distance

• **Actionneurs** :

✓ **Électrovanne** : Coupe ou ouvre l'arrivée de gaz en cas de détection de fuite.

✓ **Relais** : Permet de désactiver à distance des équipements électriques (ex. : contacteur de compresseur).

✓ **Moteur CC** : Utilisé pour piloter les compresseurs de gaz.

✓ **Ventilateur** : Active le refroidissement de la salle en cas de surchauffe.

✓ **Servomoteurs** : remplacer les Électrovannes avec les servomoteurs pour Couper ou ouvrir l'arrivée de gaz en cas de détection de fuite.

### **II.3. Salles machine à compresseurs de gaz :**

#### **II.3.1. Définition :**

Une salle de compresseurs de gaz est un bâtiment industriel spécialisé conçu pour contenir, faire fonctionner et entretenir de manière appropriée un ou plusieurs compresseurs utilisés pour la compression de gaz, qu'il soit d'origine naturelle (gaz naturel), industrielle (azote, oxygène, hydrogène, etc.) ou de procédé (gaz de raffinerie, gaz chimique). Il crée une connexion vitale dans la chaîne de production, de transport ou de traitement du gaz, en augmentant la pression du gaz afin de répondre aux besoins des processus industriels, de l'injection dans le réseau, du stockage dans les réservoirs ou du transfert à distance.

#### **II.3.2. Les Différentes Installations :**

Les salles de compression sont différenciées selon plusieurs critères, tant en termes d'exigences techniques, de contraintes d'application que de conditions d'installation.

##### **II.3.2.1. Classification selon le type de gaz comprimé :**

Les salles de compression de gaz se distinguent selon le type de gaz utilisé et leurs exigences spécifiques. On trouve :

- Des installations pour l'air comprimé industriel, utilisées dans tous les secteurs pour alimenter les outils et systèmes automatisés.
- Des salles pour le gaz naturel, à haute pression, destinées aux pipelines ou turbines.
- Des installations pour les gaz de procédé (hydrogène, azote, chlore...), très sensibles à la corrosion.
- Des salles pour le biogaz, orientées vers la valorisation énergétique.
- Des systèmes pour gaz médicaux dans les hôpitaux, exigeant fiabilité et qualité.
- Des salles pour l'hydrogène, nécessitant des dispositifs de sécurité renforcés en raison de la nature hautement inflammable du gaz.

##### **II.3.2.2. Classification par configuration et taille :**

**1. Installations centralisées :**

Tous les compresseurs et systèmes auxiliaires sont logés dans une seule pièce pour avoir une alimentation globale. Disposant d'installations de supervision et de maintenance, mais avec des longueurs de réseau plus longues et plus chronophages.

**2. Installations décentralisées :**

Les pièces étroites sont installées aussi près que possible des points de consommation. Cela minimise les pertes de pression et offre de la flexibilité, mais il est difficile de gérer et de connecter les unités entre elles.

**2. Installations modulaires ou conteneurisées :**

Préfabriquées, mobiles et indépendantes, elles sont idéales pour des opérations à court terme, en mer, ou pour des demandes fluctuantes. Ils tendent à intégrer tous les composants (compresseur, traitement, instrumentation) dans un seul conteneur.

**II.3.3. Schéma bloc des différentes parties de la salle machine étudiée :**

Le schéma bloc ci-dessus (figureII.1) représente notre système conçu pour protéger les salles de machines industrielles contre les fuites de gaz

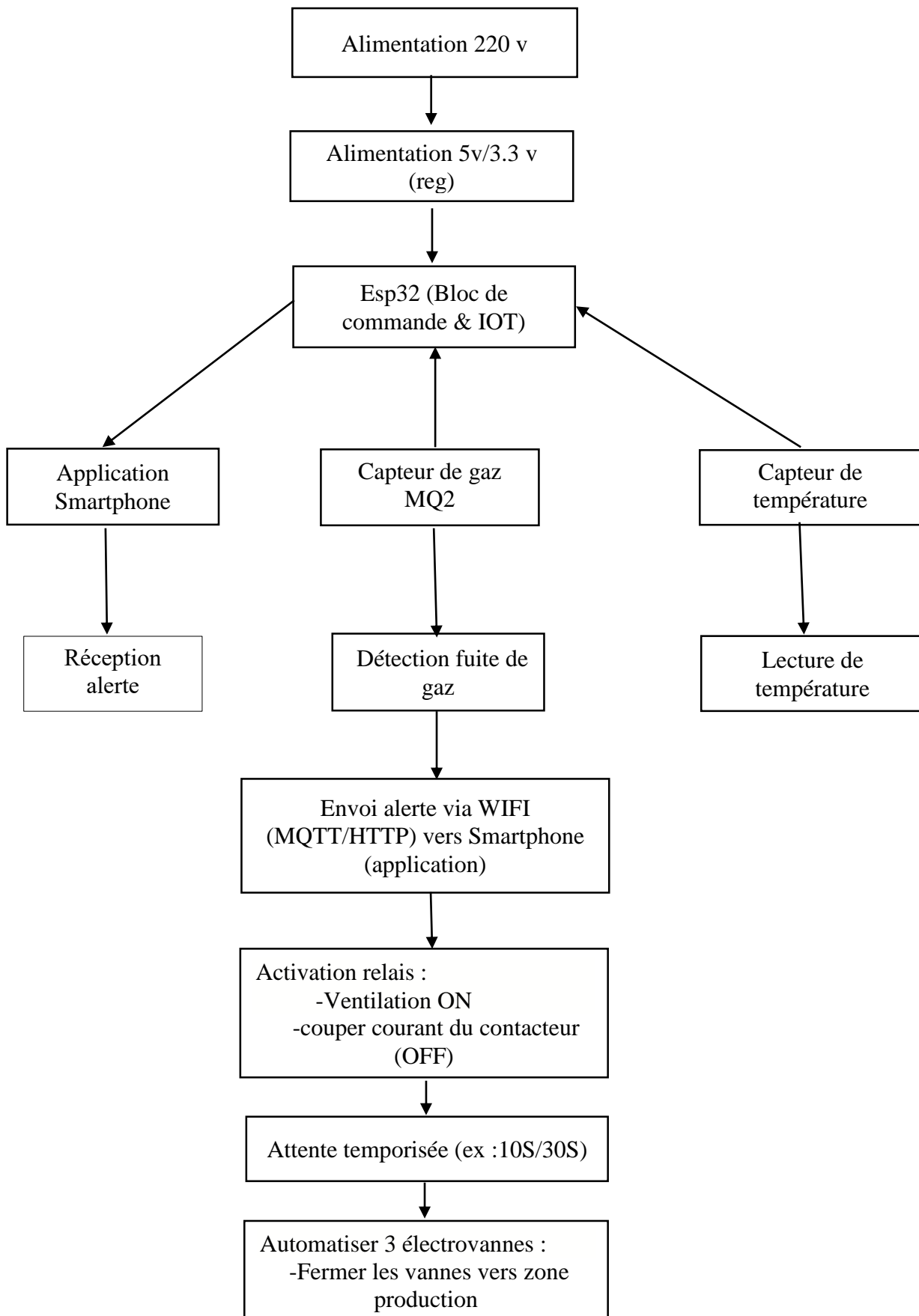


Figure II.11: Schéma bloc du système.

Voici les étapes essentielles de son fonctionnement :

- Une **fuite de gaz** est détectée par le **capteur MQ2**.
- L'**ESP32** traite cette information.
- Le système **envoie une alerte** sur le **smartphone** via Wi-Fi ou Bluetooth.
- L'**électrovanne** se ferme automatiquement.
- La **caméra** active un flux vidéo accessible via une **interface mobile ou web**.

### II.3.3.1. Schéma électrique des compresseurs de gaz :

Les figures ci-dessus (Figure II.12) et (Figure II.13) représente notre schéma électrique avec ces deux partie essentielles partie puissance et partie commande :

#### ➤ Parties puissance :

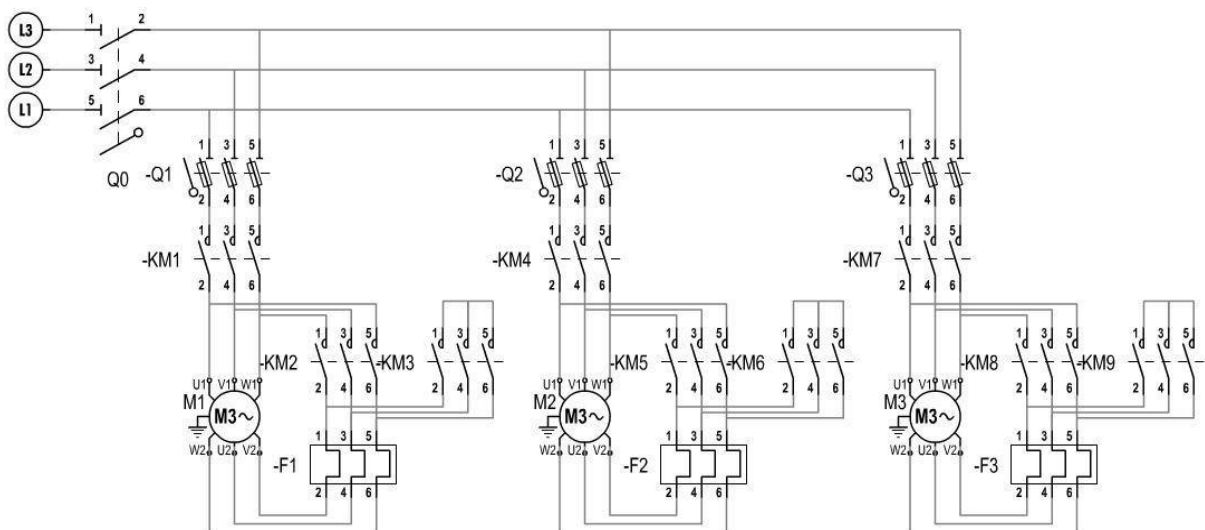
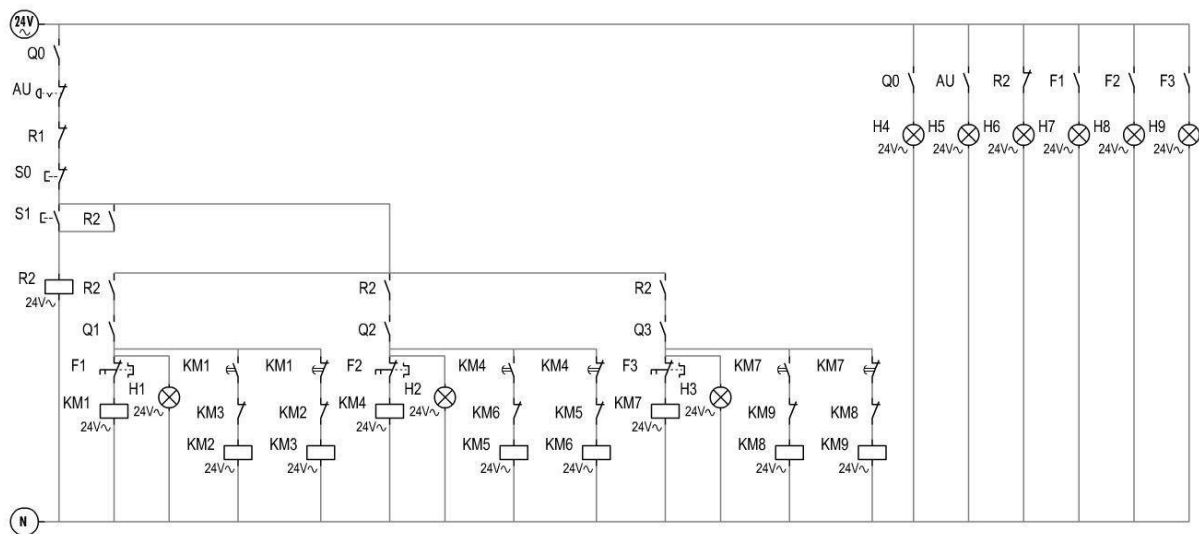


Figure II.12 : Schéma électrique (Parties puissance).

➤ **Parties commande :**



**Figure II.13 :** Schéma électrique (Parties commande).

➤ **Explication du schéma électrique :**

Le schéma électrique est composé de deux sections principales : la partie commande (alimentée en 24 V) et la partie puissance (alimentée en 400 V triphasé), qui collaborent pour gérer trois moteurs (M1, M2, M3) via un démarrage étoile/triangle.

Dans la partie commande, Ce schéma représente le circuit de commande associé au démarrage étoile-triangle de trois moteurs triphasés (M1, M2 et M3), en basse tension de commande (24V). L'alimentation provient d'une source 24V en courant continu. Le circuit utilise plusieurs boutons et relais pour piloter les moteurs en toute sécurité. Chaque ligne de commande est protégée par un fusible (F1, F2, F3), et un disjoncteur (Q1, Q2, Q3) pour isoler chaque section. Les boutons poussoirs (S0 pour l'arrêt et S1 pour le démarrage) permettent de commander l'ensemble du système via un relais intermédiaire (R2), qui va ensuite déclencher la séquence de démarrage.

Lorsque l'utilisateur appuie sur le bouton de démarrage, le relais R2 s'enclenche, activant successivement les contacteurs de ligne (KM1 pour M1, KM4 pour M2, KM7 pour M3), ce qui met les moteurs sous tension. En parallèle, des voyants lumineux (H1 à H9) permettent de visualiser l'état de chaque moteur et contacteur. Le bouton d'arrêt (S0) permet d'ouvrir le circuit de commande, coupant ainsi l'alimentation des relais et contacteurs, arrêtant les moteurs immédiatement. Chaque moteur est également protégé individuellement contre les surcharges à travers son propre relais thermique (F1, F2, F3). Le système assure donc un démarrage contrôlé, une signalisation claire de l'état du système, et une protection adaptée, le tout sans entrer dans le détail des contacteurs étoile et triangle.

Dans la partie puissance, l'alimentation triphasée (L1, L2, L3, 400 V) un circuit de puissance pour le démarrage étoile-triangle de trois moteurs triphasés (M1, M2 et M3). L'alimentation électrique provient des trois phases L1, L2 et L3, protégées par un disjoncteur principal (Q0), puis redistribuées à travers trois disjoncteurs secondaires (Q1, Q2, Q3), chacun dédié à un moteur. Chaque moteur possède un contacteur principal (KM1 pour M1, KM4 pour M2, KM7 pour M3) qui permet de les raccorder au réseau électrique. Ces contacteurs principaux assurent la mise sous tension des moteurs et permettent leur arrêt en cas de besoin. Pour la

protection contre les surcharges, chaque moteur est équipé d'un relais thermique (F1 pour M1, F2 pour M2, F3 pour M3) qui agit en cas de dépassement du courant nominal en coupant l'alimentation. Les connexions vers les moteurs montrent une configuration permettant un démarrage progressif, en étoile puis en triangle, ce qui réduit le courant de démarrage et protège les équipements. Le schéma est donc conçu pour un fonctionnement sécurisé, séquentiel et protégé de trois moteurs triphasés dans un environnement industriel.

➤ **Principes de fonctionnement :**

Ce fonctionnement repose sur l'interaction entre la partie commande et la partie puissance pour démarrer et faire tourner les moteurs de manière sécurisée avec un démarrage étoile/triangle. La commande commence par l'activation du disjoncteur principal Q0, puis les disjoncteurs Q1, Q2 et Q3 permettent de sélectionner les moteurs à mettre en marche. En appuyant sur le bouton S1, le relais R2 s'active (le témoin H6 s'allume), ce qui initie le processus de démarrage. Dans un premier temps, les moteurs sont couplés en étoile à l'aide des contacteurs KM2, KM5 et KM8 afin de limiter le courant d'appel. Après un délai déterminé par une temporisation, le système bascule automatiquement en couplage triangle via les contacteurs KM1, KM4 et KM7 pour assurer le fonctionnement nominal des moteurs. Les contacteurs KM3, KM6 et KM9 assurent un verrouillage pour éviter toute commutation simultanée entre les deux modes, ce qui garantit la sécurité de l'installation. Les dispositifs de sécurité incluent le bouton AU pour l'arrêt d'urgence (indiqué par H5), le relais R1 en cas d'anomalie comme une fuite de gaz ou une surchauffe, ainsi que les relais thermiques F1, F2 et F3 pour protéger contre les surcharges (avec voyants H7, H8 et H9). Dans la partie puissance, les disjoncteurs Q0 à Q3 protègent l'alimentation, les contacteurs assurent les différents couplages, et les relais thermiques interviennent en cas de dépassement de courant. La commande envoie les signaux nécessaires pour piloter les contacteurs, tandis que les éléments de protection assurent un retour d'information pour un contrôle sécurisé et fiable.

**II.4. Les cartes et capteurs utilisés :****II.4. 1. Capteurs et actionneurs :****II.4. 1. 1. Capteurs :****Définition :**

Capteur est un organe chargé de prélever une grandeur physique (température, humidité, distance, concentration, force...) à mesurer et de la transformer en une grandeur électrique exploitable (courant, tension, charge ...). C'est le premier maillon de toute une chaîne de mesure, acquisition de données, de tout système d'asservissement, régulation, de tout dispositif de contrôle. [21]

**II.4.1.1.1. Classification des capteurs :****• Les capteurs passifs :**

Ce sont des capteurs modélisables par une impédance : Résistance, capacité ou inductance. Un capteur passif nécessite un circuit électrique extérieur (conditionneur) pour mesurer cette impédance : montage potentiométrique, pont d'impédance, etc... [21]

On peut classer les capteurs passifs en 3 catégories :

- Capteurs Résistifs
- Capteurs Capacitifs
- Capteurs Inductifs

- **Les Capteurs actifs :**

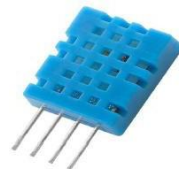
Ce sont des capteurs que l'on modélise par des générateurs de tension ou de courant en fonction de l'intensité du phénomène physique mesuré. Ils n'ont pas besoin d'une alimentation externe (exemple : thermocouple, photodiode, capteur piézoélectrique). [21]

#### II.4. 1. 1.2. Les capteurs utilisés :

##### 1. Capteur DHT11 :

###### A. Description :

Le capteur DHT11 (figure II.4) est un capteur de température populaire utilisé avec les microcontrôleurs tels que l'esp32. Il est facile à utiliser et peut être utilisé pour mesurer la température dans une variété de projets, tels que les systèmes de contrôle de l'environnement, les systèmes de surveillance de la météo et les systèmes de contrôle de la qualité de l'air. [22]



**Figure II.14 :** Capteur DHT11.

###### B. Caractéristiques :

- **Tension d'alimentation :** 3 V à 5,5 V
- **Plage de température mesurable :** 0 à 50 °C
- **Précision sur la température :**  $\pm 2$  °C

###### C. Principe de fonctionnement :

Le capteur DHT11 mesure la température à l'aide d'une thermistance, dont la résistance varie selon la chaleur.

Un circuit intégré convertit cette variation en température à l'aide d'une courbe d'étalonnage, puis transmet la valeur en signal numérique sur un seul fil.

###### D. Les broches :

DHT11 possède 4 broches(FigureII.5) qui permettent de connecter le capteur à une esp-32 ou à tout autre dispositif électronique. Les broches sont :

- **VCC :** Alimente le capteur avec une tension de **3 à 5 V**.
- **Data :** Transmission des données numériques.
- **NC :** Sans fonction, peut être laissée non connectée.
- **GND :** Doit être reliée à la masse du circuit.

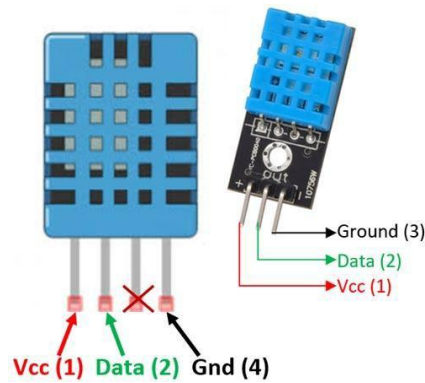


Figure II.15 : Bronche du capteur DHT11.

## 2. Capteur MQ2 :

### A. Description :

Le capteur de gaz MQ2(FigureII.6) est utile pour la détection des fuites de gaz à des concentrations de 300 à 10000ppm (parties par million) dans l'industrie. Il peut détecter le H<sub>2</sub>, le GPL, le CH<sub>4</sub>, le CO, l'alcool, la fumée, le propane. Il se caractérise par son temps de réponse rapide.

Les mesures peuvent être prises dès que possible. De plus, la sensibilité peut être réglée par le potentiomètre [23]



Figure II.16 : Capteur MQ2.

### B. Caractéristique :

Les caractéristiques de ce capteur se sont illustrés dans le (Tableau II.1) au-dessus :

Tableau II.2 : Caractéristique de capteur Mq2.

Alimentation	5v
Puissance	0.8W
Courant	0.16A
Tension de sortie	5V DC
Nombre de broche	4 broches (4 pins)
Dimensions	40x20mm
Type d'Interface	Analogique
Stabilité	Système stable à longue durée de vie.
Circuit de contrôle	Simple
Temps de réponse	Rapide et haute sensibilité

### C. Principe de fonctionnement :

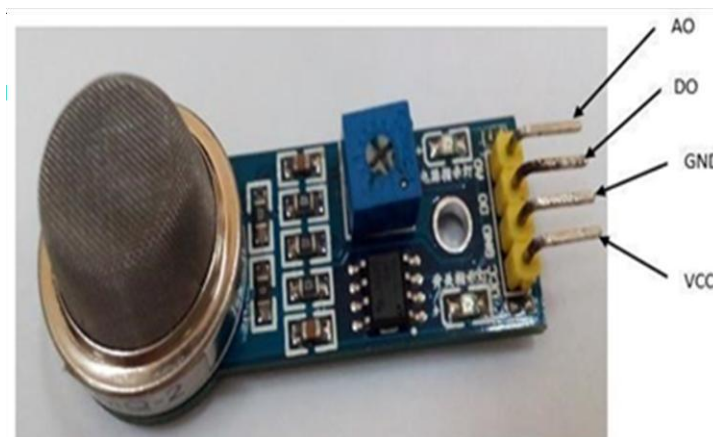
Le capteur MQ2 détecte les gaz inflammables et la fumée via une variation de résistance d'un matériau chauffé (oxyde d'étain).

Cette variation est convertie en signal analogique proportionnel à la concentration de gaz. Un comparateur intégré permet aussi une sortie numérique si un seuil est dépassé.

### D. Les broches :

Le capteur de gaz MQ2, généralement fourni sous forme de module prêt à l'emploi, comporte quatre broches principales (Figure II.7) :

- VCC : Alimente le capteur, généralement en 5 V.
- GND : Broche de masse commune du circuit.
- AO : Sortie analogique proportionnelle à la concentration de gaz.
- DO : Sortie numérique activée quand le gaz dépasse un seuil réglable.



**Figure II.17 :** Bronches du capteur MQ2.

### II.4. 1. 2. Actionneur :

#### Définition :

Un actionneur est un dispositif qui convertit l'énergie qu'il reçoit en une manifestation physique comme la lumière, le son, la chaleur ou le mouvement. Il est fréquemment utilisé en parallèle avec des capteurs pour automatiser certaines tâches. Les capteurs perçoivent des états physiques et convertissent ces informations en données numériques, tandis que les impulsions emploient ces données pour réaliser des actions physiques appropriées.

#### II.4.1.2.1. Classification d'Actionneurs :

Les actionneurs peuvent être divisés en différentes catégories selon leur source d'énergie et leur utilisation et on les trouvera dans des nombreuses applications comme :

- **Domotique** : Pour automatiser des tâches ménagères comme l'ouverture des volets ou le contrôle du chauffage.
- **Robotique** : Pour commander des mouvements précis et automatiser des tâches complexes.
- **Industrie** : Pour contrôler des processus de fabrication et des machines-outils.
- **Énergies Renouvelables** : Pour optimiser l'efficacité des systèmes d'énergie

#### II.4.1.2.2. Les actionneurs utilisés :

##### 1. Electrovanne :

##### A. Description :

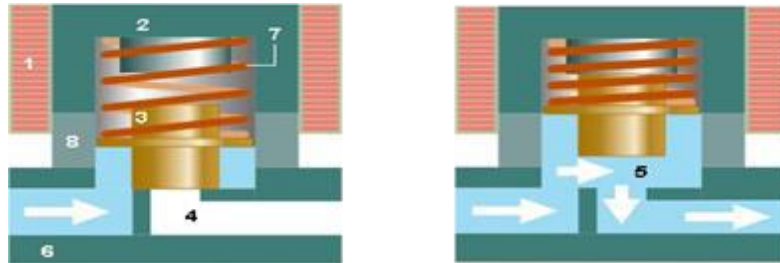
Une électrovanne (électrovalve) (figure II.8) est une vanne électriquement commandée, Grâce à cet organe il est possible d'agir sur le débit d'un fluide dans un circuit par un signal électrique.



**Figure II.18** : Electrovanne.

**B. Principe de fonctionnement :**

Un courant électrique alimente une bobine qui crée un champ magnétique dans lequel se déplace le noyau, ce noyau pilote l'ouverture et la fermeture de l'entrée de l'électrovanne voire la (figure II.9).



**Figure II. 19 :** Fonctionnement de l'électrovanne.

Dans le cadre de la réalisation sur maquette, en dehors du contexte industriel réel, les servomoteurs sont utilisés à la place des électrovannes pour simuler le fonctionnement du système.

**2. Servomoteurs :****A. Description :**

Un servomoteur (figure II.10) est une unité électromécanique composée d'un moteur à courant continu, d'un axe de rotation, d'un capteur de position angulaire et d'une carte électronique de contrôle. Ce dernier régule la position de l'axe ainsi que le fonctionnement du moteur pour offrir un contrôle précis. Basé sur le principe d'une boucle fermée, un servomoteur peut maintenir une position donnée avec précision selon les instructions fournies. Il est particulièrement réputé pour sa grande précision et sa puissance supérieure à celle des moteurs standards.



**Figure II.20 :**SG90 Micro Servomoteur.

**B. Caractéristiques :**

Les caractéristiques de ce capteur se sont illustrés dans le (tableau II.2) au-dessus :

**Tableau II.2:** Caractéristiques SG90 Micro Servomoteur.

<b>Références</b>	SG90
<b>Poids</b>	09g
<b>Couple d'arrêt</b>	1.8 kgf.cm
<b>Tension de fonctionnement</b>	4.8V ( 5V)
<b>Vitesse</b>	0.1 s/60°
<b>Rotation angle</b>	180°

**3. Ventilateur :****Description :**

Un ventilateur au sein d'une salle de machines industrielle est essentiel pour assurer un cadre de travail sain et productif. Voici certains éléments essentiels à prendre en compte.

**Rafrâichissement de l'Air :**

Les ventilateurs industriels jouent un rôle crucial pour renouveler l'air à l'intérieur, en expulsant l'air contaminé et en apportant de l'air frais de l'extérieur. Cela améliore l'air ambiant et diminue les dangers.

**Gestion de la Température :**

Ils contribuent à maîtriser la température, entraînant ainsi une augmentation excessive de la chaleur et atténuant les niveaux d'humidité, ce qui est particulièrement essentiel dans des milieux tels que les serres ou les salles de bain.

Dans le cadre de la réalisation sur maquette, en dehors du contexte industriel réel, le ventilateur 5v est utilisé à la place des extracteurs (ventilateur industriel) pour simuler le fonctionnement du système.

**➤ Un ventilateur de 5V :**

Est un dispositif de refroidissement électrique qui fonctionne à une tension de 5 volts. Il est souvent utilisé dans les projets électroniques pour refroidir des appareils ou des systèmes qui produisent de la chaleur. [24]



Figure II.11. Ventilateur 5V.

#### 4. Relais :

##### A. Description :

Un relais électromécanique (Figure II.12) est un organe électrique permettant de dissocier la partie puissance de la partie commande : il permet l'ouverture/fermeture d'un circuit électrique par un second circuit complètement isolé (isolation galvanique) et pouvant avoir des propriétés différentes.



Figure II.12 : Relais.

##### B. Composants d'un relais :

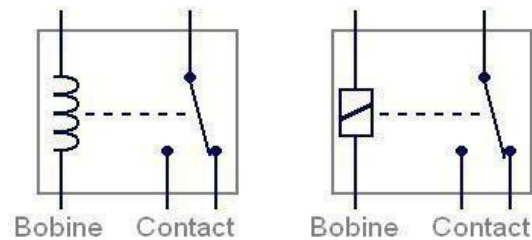
Un relais est composé principalement d'un électroaimant, qui lorsqu'il est alimenté, transmet une force à un système de commutation électrique : les contacts.

L'électroaimant peut être, suivant les spécifications et besoins, alimenté en TBT (Très Basse Tension) (moins de 12 V, 24 V, 48 V) continu ou alternatif ou en BT (Basse Tension) (230 V, 400 V).

Le système de commutation peut être composé d'un ou plusieurs interrupteurs, appelés contacts normalement ouverts (NO) ou normalement fermés (NF), d'un ou plusieurs inverseurs (contacts repos- travail RT). Ces commutateurs sont adaptés aux courants et à la gamme de tensions à transmettre à la partie puissance. [25].

Dans les systèmes mettant en œuvre une certaine puissance, on appelle les relais des contacteurs. Divers systèmes mécaniques ou pneumatiques peuvent créer un retard à l'enclenchement ou au relâchement.

La (figure II.13) présente le symbole de relais :



## Symboles du relais

**Figure II.13 :** Symbole du relais.

Dans notre système on a utilisé le module relais pour étendre les capacités de contrôle d'Arduino à des circuits électroniques de forte puissance comme le ventilateur 5v aussi pour éviter le retour de courant tout en assurant une isolation galvanique entre les deux circuits.

### Relais 5v

#### II.4.1.3. D'autres matériaux :

##### II.4.1.3.1. Chargeur 12V 2A :

Un Chargeur 12V 2A (Figure II.14) est un adaptateur d'alimentation électrique qui fournit une tension de 12 volts et un courant maximal de 2 ampères.

Cet adaptateur est conçu pour alimenter une variété d'appareils électroniques tels que les bandes LED, les routeurs sans fil, les modems ADSL, les caméras de sécurité et d'autres équipements audio/vidéo nécessitant une alimentation en 12V et jusqu'à 2A. [26]



**Figure II.14:** Adaptateur 12V.

#### II.4.1.3.2. Afficheur lcd :

Un afficheur LCD I2C (Figure II.15) est un écran LCD (généralement 16x2 ou 20x4 caractères) interfacé via le protocole I2C, ce qui réduit le nombre de broches nécessaires pour le connecter à un microcontrôleur comme Arduino, Raspberry Pi, ou ESP32. Voici un aperçu clair et concis :

- **LCD** : Écran à cristaux liquides affichant du texte (caractères alphanumériques).
- **I2C** : Protocole de communication série utilisant seulement 2 fils (SDA pour les données, SCL pour l'horloge) plus l'alimentation (VCC et GND).
- **Module I2C** : Souvent un circuit intégré (comme le PCF8574) est soudé à l'arrière du LCD pour convertir les signaux I2C en commandes pour l'écran, essentiellement les connexions de 16 à 4 broches.



**Figure II.15** : Afficheur LCD I2C.

### II.4.1.3. 3. Alimentation MB102 :

Le MB102 (Figure II.16) est un module d'alimentation pour platine d'expérimentation conçu pour fournir des sorties stables de 3,3 V et 5 V pour le prototypage et les projets électroniques DIY. Il est compatible avec les platines d'expérimentation MB102 standard (400 ou 830 points de connexion). Voici un aperçu concis basé sur les informations disponibles :

#### A. Caractéristiques principales :

- **Tension d'entrée** : 6,5 V à 12 V CC via une prise jack cylindrique (centre positif) ou un connecteur USB-A (entrée 5 V). Remarque : une entrée 5 V via USB contourne le régulateur 5 V, mais peut néanmoins fournir une sortie 3,3 V.
- **Tension de sortie** : sélectionnable entre 3,3 V et 5 V via des cavaliers, avec deux canaux indépendants pour les rails d'alimentation supérieure et inférieure de la platine d'expérimentation. Chaque canal peut être réglé sur 0 V, 3,3 V ou 5 V.
- **Courant de sortie maximal** : jusqu'à 700 mA par canal.



Figure II.16 : Alimentation externe MB102.

### II.4.1.3. 4. La RFID :

La RFID (Radio Frequency Identification) est une technologie permettant d'identifier, de mémoriser et de récupérer des données à distance, sans contact direct, grâce à l'utilisation d'ondes radio. Un système RFID (Figure II.17) se compose de trois éléments principaux :

- **Le tag ou étiquette RFID** : contient une puce électronique pour le stockage des données et une antenne pour la communication.
- **Le lecteur RFID** : émet des ondes radio pour activer et interroger le tag, puis reçoit les informations transmises en retour.
- **Le système informatique** : traite les données recueillies par le lecteur, souvent via un logiciel et une base de données.



**Figure II.17 : RFID RC522.**

**Fonctionnement général :**

- Le lecteur envoie un signal radio.
- Le tag capte ce signal via son antenne, s'active (s'il est passif), puis transmet les données stockées dans sa puce au lecteur.
- Le lecteur reçoit ces données et les transmet au système informatique pour traitement ou action

Pour une connexion typique SPI avec l'esp32 (Figure II.18), on branche :

- VCC à 3,3 V.
- GND à la masse.
- RST à une broche digitale.
- SS à une broche digitale.
- MOSI, MISO, SCK aux broches SPI de l'esp32.
- IRQ souvent non connectée sauf besoin d'interruption.

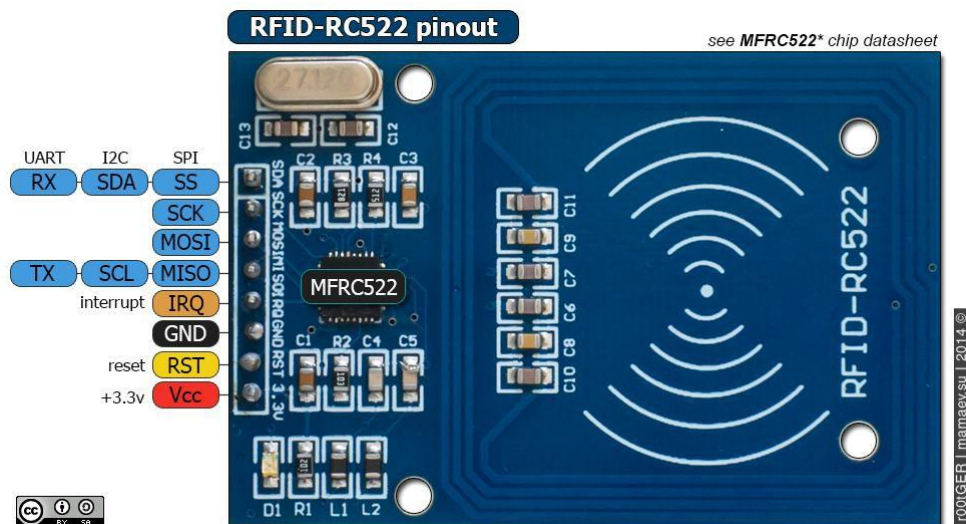


Figure II.18 : Branche de l'RFID-RC522.

## II.5. Microcontrôleurs et modules de communication (ESP32, ESPcam, Arduino) :

### II.5.1. La carte ESP32 :

#### Description :

ESP32 (Figure II.19) est une série de microcontrôleurs à faible coût et à faible consommation d'énergie sur puce avec Wi-Fi intégré et Bluetooth bimode. La série ESP32 utilise un microprocesseur Tensilica Xtensa LX6 dans des variantes à double cœur et à cœur unique et comprend des commutateurs d'antenne intégrés, un balun RF, un amplificateur de puissance, un amplificateur de réception à faible bruit, des filtres et des modules de gestion de l'alimentation. ESP32 est créé et développé par Espressif Systems, et est fabriqué par TSMC (Taiwan Semiconductor Manufacturing Company) en utilisant leur processus de 40 nm. [27]



Figure II.19 : la carte esp32.

**II.5.1.1. Les caractéristiques techniques**

- Microcontrôleur ESP32 à double cœur avec un processeur principal à 160 MHz et un coprocesseur à 240 MHz
- Support de la connectivité Wi-Fi 802.11b/g/n et Bluetooth v4.2
- 32 Mo de mémoire flash et 520 Ko de mémoire RAM
- 34 broches d'entrée/sortie, dont 18 PWM et 8 entrées analogiques
- Support de l'OTP (One-Time Programmable) pour la mémoire flash et de la mémoire FRAM (Ferroelectric Random Access Memory)
- Alimentation via USB ou 3,3 V externe

**II.5.1.2. Brochage de la carte de développement ESP32 :**

La carte de développement ESP32 possède au total 30 broches comme montre la (Figure II.20) qui la connectent au monde extérieur. Les connexions sont les suivantes :

ESP32 Wroom DevKit Full Pinout

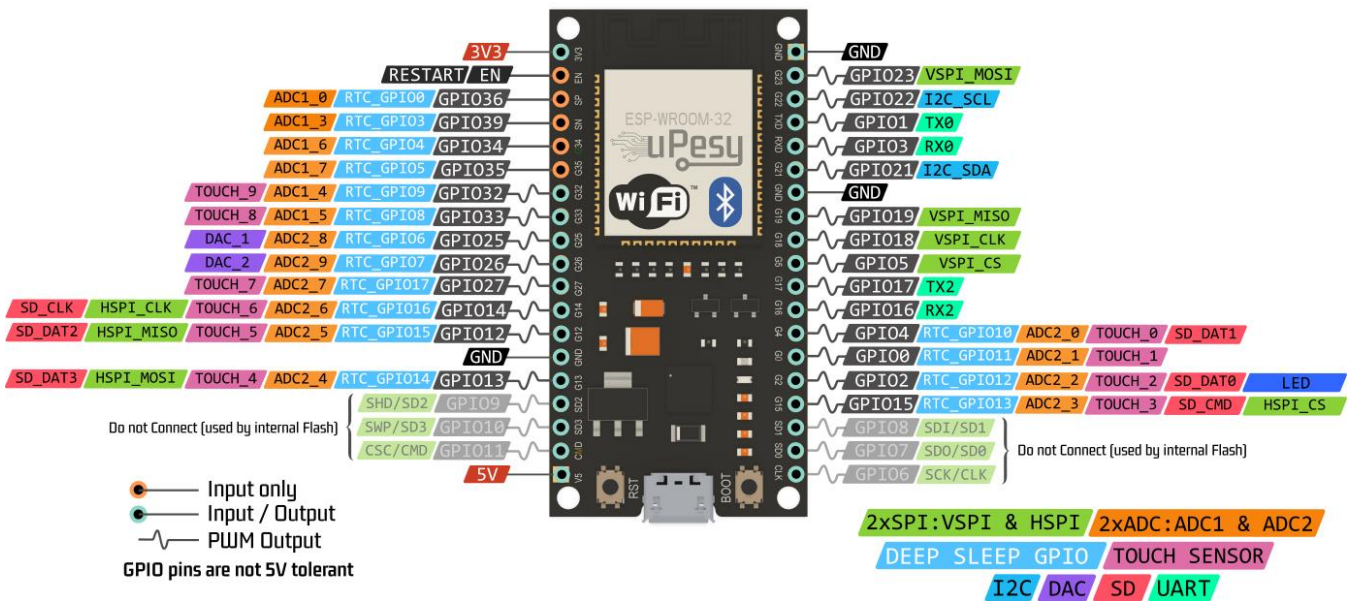


Figure II.20 : Bronche de la carte esp32.

- **Broches d'alimentation** : VIN reçoit du 5V pour alimenter la carte ; la broche 3,3 V fournit du 3,3 V régulé pour des composants externes.
- **GND** : Broche de masse commune pour les circuits.
- **Connexions séries** : L'ESP32 intègre des broches I2C et SPI pour capteurs et périphériques.
- **Broches GPIO** : 25 broches configurables pour entrées/sorties numériques et interruptions.
- **Pins UART** : Deux UART pour communication série rapide (jusqu'à 5 Mbps) avec gestion de flux.
- **Capteur à effet Hall** : Intégré pour détecter un champ magnétique via une tension mesurable.
- **Capteurs tactiles** : 10 GPIO sensibles au toucher pour interfaces capacitives.

II.5.2. La carte ESP32-CAM :

Description :

L'ESP32-CAM (Figure II.21) est une carte de développement à faible coût intégrant Wi-Fi, Bluetooth et une caméra, idéale pour les projets IOT, domotique et reconnaissance faciale. Dotée de deux cœurs 32 bits haute performance, elle offre une connectivité complète et prend en charge diverses applications intelligentes grâce à sa puissance de calcul et sa compatibilité avec les standards sans fil. [28]



**Figure II.21** : La carte esp32-cam.

### II.5.2.1. Caractéristiques techniques de l'ESP32-CAM

Le module ESP32-CAM dispose quelques caractéristiques (Figure II.22) techniques très intéressantes disponibles sur la fiche technique du fabricant. Les caractéristiques les plus importantes sont :

- **Connectivité** : Wi-Fi 802.11b / g / n + Bluetooth 4.2 avec BLE. Prend en charge le Téléchargement d'images via Wi-Fi.
- **Ports d'E/S** : UART, SPI, I2C et PWM. Il a 9 broches GPIO.
- **Fréquence d'horloge** : jusqu'à 160Mhz.
- **Puissance de calcul du microcontrôleur** : jusqu'à 600 DMIPS.
- **Mémoire** : 520 Ko de SRAM + 4 Mo de PSRAM + fente pour carte SD
- **Appareil photo** : Prend en charge les caméras OV2640, ces types de caméras ont :
  - Un capteur de 2 MP
  - Résolution de l'image UXGA 1622 × 1200 px
  - Format de sortie YUV422, YUV420, RGB565, RGB555 avec compression de données 8bits.
  - Transfert de l'une image entre 15 et 60 FPS. [29]

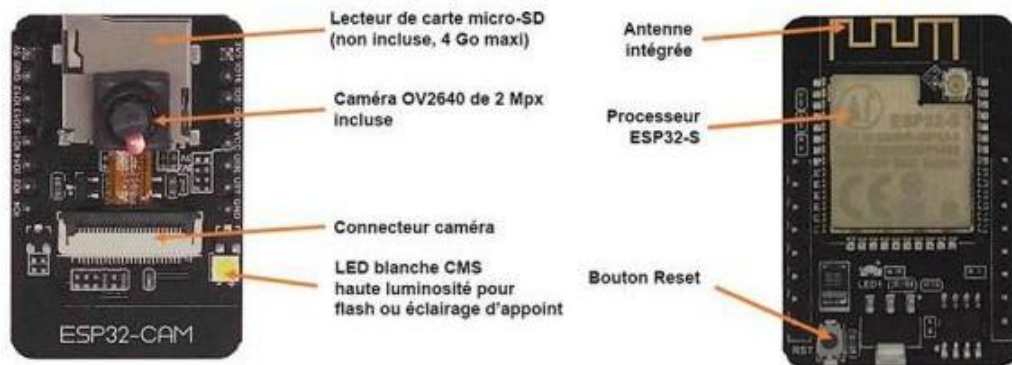


Figure II.22 : caractéristiques technique de la carte esp-32-cam.

### II.5.2.2. Broches de L'esp32-cam :

Il y a trois broches GND et deux broches pour l'alimentation : 3,3 V et 5 V.

GPIO 1 et GPIO 3 sont les broches série (TX et RX, respectivement).

GPIO 0 détermine si l'ESP32 est en mode programmation. Lorsque GPIO 0 est connecté à GND, l'ESP32 passe en mode programmation et il est donc possible de télécharger le code sur la carte.

Les bronches de l'esp32-cam sont illustre dans le (Figure II.23) :



Figure II.23 : Broches de L'esp32-cam.

**II.6. Communication et gestion des données :****II.6.1. Protocoles de communication (HTTP, Bluetooth, etc.)****II.6.1.1. HTTP :****Description :**

Le protocole HTTP (HyperText Transfer Protocol)/HTTPS (HyperText Transfer Protocol Secure) est sans aucun doute le plus connu puisqu'il est utilisé pour la plupart des sites et des applications web. Néanmoins, ce protocole peut également être utilisé pour certaines applications IoT.

Un appareil envoie une requête à un second dispositif pour demander des informations (méthode GET) ou en envoyer (méthode POST). La requête contient des en-têtes qui permettent de fournir des informations supplémentaires, comme le type de contenu ou un jeton de sécurité. Le dispositif qui traite la demande va ensuite envoyer une réponse, avec un code de statut des données et des en-têtes supplémentaires. Le protocole HTTPS ajoute une couche de sécurité avec un chiffrement des données grâce au protocole SSL/TLS.

**II.6.1.2. Wifi :****Définition:**

Le Wi-Fi est une technologie de communication sans fil qui utilise des ondes radio, principalement dans les bandes de fréquences 2,4 GHz, 5 GHz et 6 GHz, pour fournir un accès à Internet et aux réseaux. Chaque bande offre des avantages différents : le 2,4 GHz a une portée plus large mais une vitesse plus faible, tandis que le 6 GHz offre des vitesses plus rapides avec une portée plus courte. Le Wi-Fi fonctionne selon des normes définies par l'IEEE, telles que les protocoles 802.11a, b, g, n et ac, qui déterminent les fréquences, débits et techniques de transmission. La connexion débute par l'envoi d'une "demande de sondage" par l'appareil, auquel le point d'accès (routeur) répond par une "balise" contenant des informations comme le nom du réseau (SSID) et la puissance du signal. L'appareil envoie ensuite une "demande d'authentification" et, après vérification des identifiants, reçoit une adresse IP. Il est alors connecté au réseau, pouvant accéder à Internet ou échanger des données avec d'autres appareils.[30]

**➤ Types de réseaux sans fil :**

Les quatre principaux types de réseaux sans fil sont le LAN sans fil, le MAN sans fil, le PAN sans fil et le WAN sans fil.

Chaque type est unique en raison de sa portée et de ses exigences de connectivité et peut être utilisé pour des applications et des cas d'utilisation spécifiques.

- **LAN sans fil (réseau local) :**

Comme nous l'avons mentionné plus haut, les réseaux locaux sans fil (WLAN) sont largement connus comme le type de réseau le plus populaire, couramment utilisé dans les applications commerciales et résidentielles ou dans les cas d'utilisation avec de petites zones de couverture.

Ils offrent généralement des vitesses élevées, mais ont une portée limitée. Ces réseaux sont donc souvent conçus avec plusieurs points d'accès pour assurer une couverture adéquate.

- **MAN (Metropolitan Area Network) sans fil:**

Comme l'indique le terme "métropolitain", les réseaux MAN sont fréquemment utilisés dans des cas d'utilisation nécessitant une couverture plus étendue, comme un campus ou le centre-ville d'une ville.

Les MAN ont une portée beaucoup plus grande, mais ne sont généralement pas aussi rapides que les WLAN.

- **PAN (Personal Area Network) sans fil:**

Ce type de réseau sans fil est conçu pour connecter un nombre très limité d'appareils dans une zone de couverture très réduite, comme une seule pièce.

Ils peuvent également être utilisés pour les appareils médicaux situés dans le corps d'une personne et nécessitant une connexion Wi-Fi pour fonctionner.

Un PAN sans fil est préférable dans les applications qui nécessitent une faible consommation d'énergie et une connectivité à courte portée uniquement.

- **WAN (Wide Area Network) sans fil**

Option de réseau sans fil à longue portée la plus étendue, un WAN est utilisé pour les zones de couverture étendues, telles qu'une région, un état ou un pays entier.

Ils sont couramment utilisés dans les réseaux cellulaires et les communications par satellite et comprennent habituellement plusieurs LAN et MAN utilisés ensemble pour fournir un accès Internet à une zone étendue.[30]

### **II.6.1.3. Bluetooth:**

Le Bluetooth est un protocole de communication sans fil développé par Ericsson à la fin des années 1990, popularisé dans les années 2000. Utilisant la fréquence 2,4 GHz (comme le Wi-Fi ou Zigbee), il permet de connecter divers appareils (Arduino, casques audio, manettes de jeu) de manière bidirectionnelle avec un modèle maître/esclave : un maître peut communiquer avec plusieurs esclaves, mais un esclave ne se connecte qu'à un seul maître.

## II.6.2. Stockage et traitement des données :

### II.6.2.1. Application Web :

Une application web est une application manipulable grâce à un navigateur web. De la même manière que les sites web, elle est généralement placée sur un serveur et se manipule en actionnant des widgets à l'aide d'un navigateur web, via un réseau informatique (Internet, réseau local). C'est une application qui peut-être hébergée en cloud ou sur des serveurs dédiés. Toutes les données sont stockées sur un serveur Web.

### II.6.2.2. Le Cloud Computing :

#### Pourquoi l'appelle-t-on "cloud computing" ?:

Le nom "cloud" vient du nuage représentant Internet ; computing renvoie à la puissance de calcul de ce nuage (Figure II.24).

De manière générale, son but est de fournir un accès facile et ajustable à différentes ressources informatiques. En effet, le cloud computing contient tout ce qui peut héberger et fournir des services sur Internet, car de plus en plus de personnes stockent sur internet leurs informations personnelles ainsi que leurs informations professionnelles [31]



Figure II.24: Le Cloud Computing.

#### Définition :

La technologie du « Cloud Computing » est une fondation où la puissance de calcul, de mémorisation et d'exécution est gérée par des serveurs distants permettant aux utilisateurs de se connecter via internet en toute sécurité. Le Cloud se caractérise par une souplesse qui permet aux

utilisateurs d'adapter la capacité de mémorisation et de calcul à leurs besoins. D'autre part, les objets connectés deviennent des points d'accès pour exécuter des applications hébergées aux serveurs distants.

Le Cloud Computing se concrétise pour le grand public par les services de mémorisation et de partage de données numériques tel que le Microsoft One-Drive, Apple i-Cloud ou Google drive, où les utilisateurs peuvent déposer des contenus personnels et y accéder depuis n'importe quel point du globe à partir d'un simple terminal connecté. [32]

### II.6.2.2.1. Types de Cloud Computing :

Le cloud computing se décompose en 3 types :

- cloud publique (Community) : ce type de cloud vend ses services à qui le veut.
- cloud privé (Private or Internal) : ce type de cloud se base sur un réseau propriétaire ou un data center et fournit des services à un nombre limité de clients.
- cloud privé virtuel (Hybrid) : ce dernier type de cloud est privé tout en utilisant des ressources publiques comme par exemple la location de plateforme chez Amazon et la vente d'un service à des clients qui en ont le droit [33]

### II.6.2.2.2. Fonctionnement de Cloud Computing :

Comme nous l'avons noté précédemment l'utilisation du cloud est très simple. Il suffit d'avoir un navigateur et de se connecter pour commencer le travail ou le projet.

Pour des projets commerciaux à distance, les données sont récupérables depuis un terminal mobile et tout cela sans acheter ou installer des logiciels ni les mettre à jours. Toutes ces tâches sont effectuées par le fournisseur du service Cloud.

Ce fonctionnement est représenté dans (Figure II.25) au-dessus :



Figure II.25 : Fonctionnalité de Cloud Computing.

## II.7. Présentation de la technologie IOT :

### Définition :

L'Internet of Things (IOT) (Figure II.26) est un réseau qui relie et combine les objets avec l'Internet, en suivant les protocoles qui assurent leurs communications et échange d'informations à travers une variété de dispositifs.

L'IoT peut se définir aussi comme étant " un concept permettant de connecter ou de capturer tout type d'informations à partir d'un appareil ou d'une machine à transmettre de sa source à toute destination indépendante de la plateforme utilisant Internet. L'IoT peut également être décrit comme un réseau géant d'appareils connectés communiquant et partageant des informations entre eux.



**Figure II. 26:** L'Internet of Things (IoT).

### II.7.1. Fonctionnement de l'IoT :

L'expression Internet des objets annonce une vision du futur Internet où la connexion des choses physiques, des billets de banque aux vélos, en passant par un réseau, leur permettra de prendre une part active à Internet, en échangeant des informations sur eux- mêmes et leur environnement. Cela donnera un accès immédiat à l'information sur le monde physique et les objets qui y sont, ce qui permettra d'obtenir des services innovants et d'accroître l'efficacité et la productivité [34]

### II.7.2. Composants du système IoT :

Lier un objet ou un lien à internet est un processus plus complexe que la liaison de deux Pages Web. L'IoT exige sept composants :

- Une étiquette physique ou virtuelle pour identifier les objets et les lieux. Il existe trois types d'étiquettes, les étiquettes passives, actives et semi-actives.
- Un moyen de lire les étiquettes physiques, ou de localiser les étiquettes virtuelles.
- Un dispositif mobile tel qu'un téléphone cellulaire, un assistant personnel ou un ordinateur portable.

- Un logiciel additionnel pour le dispositif mobile.
- Un réseau sans fil de type 2G, 3G ou 4G afin de permettre la communication entre le dispositif portable et le serveur contenant l'information liée à l'objet étiquette.
- Un affichage pour regarder l'information sur l'objet lié. A l'heure actuelle, il est probable que ce soit l'écran d'un téléphone mobile.
- L'information sur chaque objet lié. Cette information peut être contenue dans les pages existantes du Web, les bases de donnée comportant des informations de type prix, etc...

### **II.7.3. L'architecture de l'IoT :**

De nouveaux modèles d'architecture permettent d'intégrer des capteurs et le réseau Internet. Cette communication entre un capteur et le Cloud se fait par une couche virtuelle qui implémente le fonctionnement des capteurs réels. Une telle couche donne naissance à de nouvelles architectures appelées réseaux de capteurs (Sensor Cloud) ou Cloud des capteurs virtuels. Avec une telle architecture, il est possible de créer des services basés sur des capteurs virtuels, c'est-à-dire des environnements de capteurs distribués géographiquement et pouvant être utilisés à la demande par plusieurs utilisateurs.

La (Figure II.27) résume cette architecture :

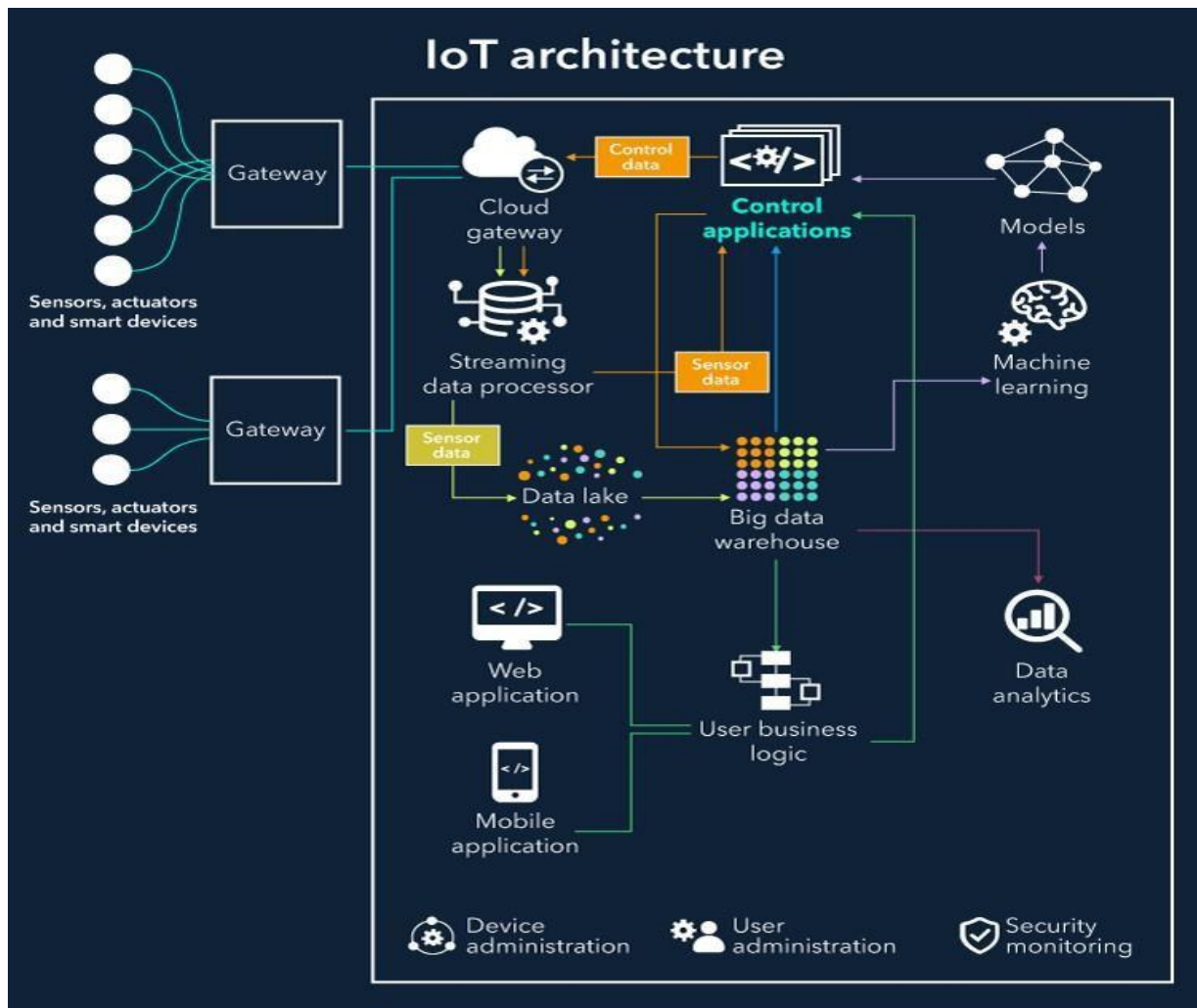


Figure II.27: L'architecture de l'IoT.

#### II.7.4. Technologies d'interfaçage (RFID, NFC, Zigbee) dans l'IoT :

Plusieurs technologies sont utilisées pour faire communiquer un objet avec l'Internet, parmi lesquelles RFID, NFC, le protocole de communication Zigbee, etc...

- **La technologie RFID :**

La technologie RFID (Figure II.28) est constituée d'un couple lecteur/étiquette. Le lecteur envoie une onde radio, l'étiquette envoie à son tour une trame d'identification. Une fois la puce alimentée, l'étiquette et le tag communiquent suivant le protocole TTF (Tag Talk First) ou ITF (Interrogator Talk First). Dans le mode TTF, l'étiquette transmet en premier les informations contenues dans la puce à l'interrogateur. En mode ITF, l'interrogateur envoie une requête à l'étiquette, et cette dernière répond par la suite.

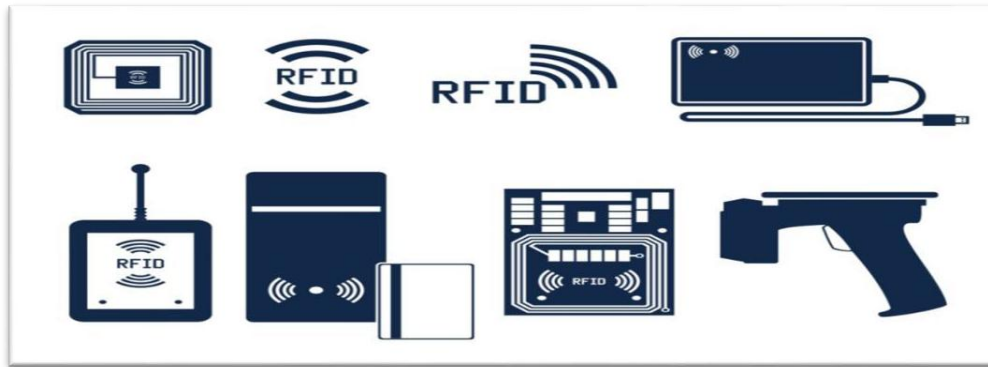


Figure II.28 : La technologie RFID.

- **La technologie NFC :**

La technologie NFC (Figure II.28) est le résultat de plusieurs évolutions des microcontrôleurs, des cartes à puce, et des communications à courte portée. NFC est basée sur le même principe que la RFID, c'est-à-dire l'identification par radio fréquence. Elle permet l'échange d'informations à courte distance entre deux objets (un lecteur et une carte) sans contact, et fonctionne suivant deux modes : le mode passif et le mode actif. En mode passif, le terminal de l'utilisateur émule une carte à puce et acquiert de l'énergie des radiations du lecteur (téléphone mobile par exemple). En mode actif, le terminal se comporte comme un lecteur d'étiquettes électroniques (code à barres, étiquettes 2D) et possède sa propre source d'énergie (une batterie embarquée par exemple).



Figure II.29 : La technologie NFC.

- **Zigbee :** est un protocole de communication sans fil à bas coût qui permet des échanges à courte distance entre les nœuds d'un réseau WPAN (Wireless Personal Area Networks). Ce protocole est basé sur la norme IEEE 802.15.4 qui spécifie les protocoles de communication entre les couches physiques et liaison de données du modèle OSI, en définissant trois types d'équipements : les FFD (Full Function Devices) qui sont des équipements à fonctionnalité complète, les RFD (Reduce Function Devices) équipements à fonctionnalité réduite, et les coordinateurs de réseau. Les FFD coordonnent l'ensemble du réseau.

Cela est expliquée dans (Figure II.30).

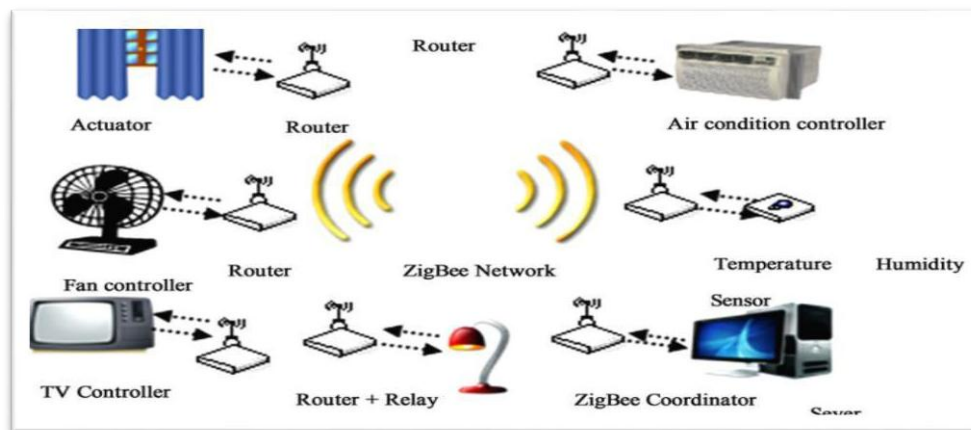


Figure II.30 : Zigbee.

### II.7.5. Domaine d'application :

L'internet offre de nombreuses applications à ses utilisateurs. Parmi ces applications, nous citons:

#### ➤ Les villes intelligentes :

Le thème des « villes intelligentes » est l'un des thèmes les plus chauds de la recherche et des affaires émergentes du 21e siècle. L'IoT est souvent perçu comme un catalyseur majeur pour les « villes intelligentes » du présent et de l'avenir. Les villes intelligentes alimentées par l'IoT visent à améliorer la qualité de vie de leurs populations de diverses façons, notamment par des mesures qui favorisent des environnements respectueux de l'environnement et durables et la prestation de services de santé/soins connectés aux citoyens à la maison et en déplacement.



Figure II. 31 : Les Villes Intelligentes.

➤ **Domotique :**

La domotique est l'ensemble des techniques de l'électronique, de physique du bâtiment, d'automatisme, de l'informatique et des télécommunications utilisées dans les bâtiments, plus ou moins interopérables et permettant de centraliser le contrôle des différents systèmes et sous-systèmes de la maison et de l'entreprise (chauffage, volets roulants, porte de garage, portail d'entrée, prises électriques, etc.). La domotique vise à apporter des solutions techniques pour répondre aux besoins de confort (gestion d'énergie, optimisation de l'éclairage et du chauffage), de sécurité (alarme) et de communication (commandes à distance, signaux visuels ou sonores, etc.) que l'on peut retrouver dans les maisons, les hôtels, les lieux publics, etc...[35].



Figure II. 32 : La domotique.

➤ **domaine de l'industrie (L'IIOT) :**

L'utilisation de l'Internet des Objets (IoT) dans l'industrie, souvent appelée Internet Industriel des Objets (IIoT), est une composante clé de la quatrième révolution industrielle. Elle transforme profondément les processus de production, la maintenance, et la gestion des ressources. Voici quelques exemples d'applications de l'IoT dans l'industrie :

**• amélioration des processus de fabrication :**

- **Description :** L'IT aide à l'automatisation et à l'optimisation des chaînes de production en collectant des données en temps réel sur la performance des machines et en ajustant automatiquement les paramètres pour augmenter l'efficacité et la qualité de produits.

-**Illustrations :** Systèmes de fabrication automatisés dans l'industrie automobile, ajustements immédiats des paramètres de production.

**• Maintenance prédictive :**

- **Description :** L'IoT permet de détecter les anomalies et les potentielles défaillances grâce à des capteurs qui examinent les vibrations, la température, et plusieurs autres éléments des machines. Cela permet d'effectuer des réparations avant l'apparition de problèmes, réduisant ainsi les délais d'arrêt et les coûts de maintenance.

-**Illustrations :** Usage de capteurs pour mesurer les vibrations et la température des équipements ainsi que d'autres paramètres de la machine et Surveillance en temps réel des machines, gestion intelligente des stocks.

**• L'IOT dans le domaine de la sécurisation et le contrôle des salles machines industrielles :****- Contrôle d'accès intelligent et sécurisé :**

L'IOT permet la mise en place de systèmes avancés de contrôle d'accès pour les salles des machines au lieu de solutions traditionnelles (clés, codes PIN) avec des substituts plus sécurisés et efficaces. Par exemple, les dispositifs d'authentification intégrés en termes de technologie RFID, NFC (Near Field Communication) et BLE (Bluetooth Low Energy) permettent l'accès uniquement au personnel autorisé tout en offrant une gestion des accès à travers un système unique et centralisé. Ces technologies réduisent le risque de partage ou de piratage de mots de passe et améliorent la traçabilité des entrées et sorties. [36]

**- Surveillance en temps réel et détection d'anomalies :**

L'IOT industriel dote les salles de machines de capteurs qui surveillent en continu l'état des équipements (température, vibration, humidité, etc.). Ces données sont transmises aux plateformes IOT qui, en temps réel, inspectent les données à la recherche d'anomalies ou de dysfonctionnements avant qu'ils ne provoquent des pannes ou des arrêts non planifiés. Cette surveillance proactive rend la maintenance prédictive possible, réduisant les coûts et augmentant la disponibilité des machines. [37]

**- Gestion des alertes et interventions rapides :**

La technologie IOT peut envoyer des alertes en temps réel dès qu'elle détecte un problème, permettant ainsi aux équipes de maintenance de réagir en conséquence. Cela aide à minimiser les temps d'arrêt de production et à garantir la sécurité des installations et des opérateurs. [37]



**Figure II.33:** Domaine d'industrie.

### II.7.6. Les avantages et les enjeux de IOT :

#### - Les avantages :

- Ce réseau d'appareils qui communiquent entre eux sans intervention humaine.
- Améliorer les services traditionnels généraux comme le transport et les parkings.
- Il peut d'ailleurs déclencher au moyen de son téléphone intelligent ou de sa tablette.
- Réduire le temps perdu dans les transactions administratives dans la ville.
- Economiser la consommation de l'énergie dans la ville.
- apporter des solutions efficaces aux problèmes de suivi et de télésurveillance dans différents domaines.

#### - Les enjeux

- les objets intelligents dans l'IoT, la transmission et le stockage de leurs données sur l'Internet devraient être sécurisés.
- La transparence est la base de l'informatique prévisible qui est à son tour un facteur essentiel dans l'Internet des objets.
- L'interopérabilité constitue l'un des plus grands défis de la réalisation de l'Internet des objets.

**II.8. Conclusion :**

On conclure, ce chapitre a permis de dresser une vue d'ensemble complète du système de sécurité et de contrôle mis en place pour les salles machines à compresseurs de gaz. L'intégration de technologies modernes telles que le microcontrôleur ESP32, les capteurs de gaz et de température, les actionneurs et la communication sans fil via Bluetooth et Wi-Fi, illustre une approche intelligente et proactive de la gestion industrielle.

La mise en œuvre d'un tel système s'inscrit parfaitement dans la logique de l'Internet des Objets (IOT), où les données sont collectées, transmises et exploitées en temps réel pour assurer la sécurité, l'automatisation et la surveillance à distance des installations sensibles. L'utilisation d'une application mobile et de modules de communication sécurisés démontre la volonté d'intégrer des solutions accessibles, efficaces et évolutives. Cette approche intégrée illustre l'importance de combiner capteurs intelligents, actionneurs automatisés et connectivité pour améliorer la sécurité, la réactivité et la gestion des environnements industriels sensibles. Ainsi, le projet répond aux exigences croissantes de sécurité dans les installations de compression de gaz, tout en offrant une base évolutive pour un contrôle global et optimisé des salles machines. Cette démarche technologique offre une réponse innovante et adaptable aux exigences croissantes en matière de sécurité, d'efficacité énergétique et de maintenance prédictive dans les environnements industriels modernes

**Chapitre III :**  
**Conception de système**  
**intelligent**

### III.1. Introduction :

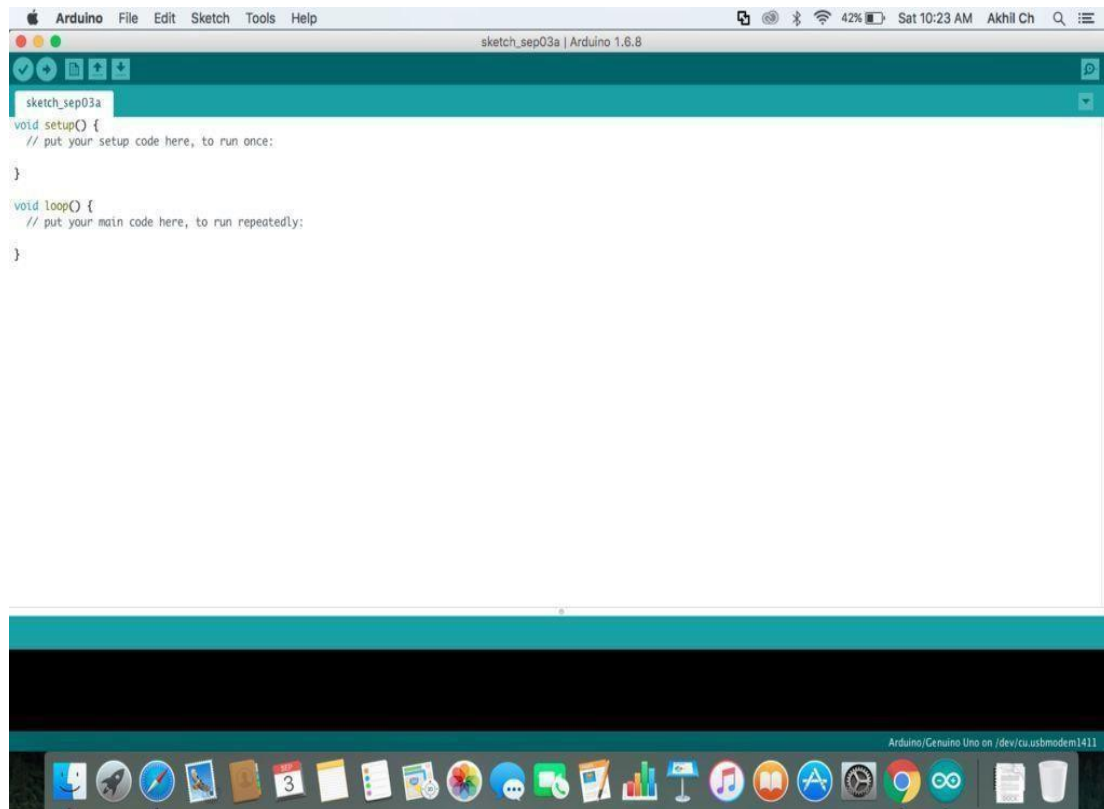
Ce chapitre consiste à réaliser un système de surveillance et de contrôle automatisé pour une salle de machines à compresseurs de gaz, son contenu est sur la carte ESP32-CAM et programmé via l'environnement Arduino IDE. Le système intègre une caméra pour la surveillance en temps réel, un capteur de gaz MQ-2 pour détecter les fuites, des servomoteurs pour fermer les électrovannes en cas d'urgence, des ventilateurs pour le refroidissement, et un système RFID pour un accès sécurisé à la salle. Connecté à la plateforme Blynk, il permet un suivi à distance via une application mobile, avec des notifications push en cas d'anomalie. Cette solution vise à garantir la sécurité et l'efficacité opérationnelle en combinant des technologies IoT accessibles et performantes.

### III.2. Programmation arduino :

En ce qui concerne sa partie programmation, la principale chose que nous devons avoir en tête est le langage de programmation que nous allons utiliser pour la programmation.

Le langage Arduino est simplement un ensemble de fonctions C/C++ pouvant être appelées à partir d'un code. L'esquisse subit des modifications mineures (par exemple, la génération automatique de prototypes de fonctions) et est ensuite transmis directement à un compilateur C/C++. Et pour le compilateur, voici le nouveau terme appelé Carte de développement intégré Arduino (Arduino IDE). L'Arduino / Genuino Uno nano. Mega peut être programmé avec le (logiciel Arduino (IDE)). Sélectionnez "Arduino / Genuino Uno. nano. mega dans le menu Outils> Carte (en fonction du microcontrôleur de la carte utiliser). [38].

Voici un exemple de démarrage de programme Arduino dans la (Figure III.1) :



**Figure III.1:** Exemple de démarrage de programme Arduino.

### III.3. Etude du système de développement Arduino IDE :

#### III.3.1. Description de l'IDE :

L'IDE est un logiciel de programmation qui permet d'écrire, de modifier un programme et de le convertir en une série d'instructions compréhensibles pour la carte. Il programme par code, contenant une cinquantaine de commandes différentes. Le langage de l'IDE Arduino est un mélange entre le C et le C++, il possède un jeu d'instruction très riche [39].

#### III.3.2. L'environnement de la programmation (ARDUINO IDE) :

Avant de commencer l'utilisation de l'Esp32, il suffit dans un premier temps de télécharger le logiciel Arduino IDE.

Il est utilisé pour écrire et télécharger des programmes sur les cartes compatibles Arduino. Le code écrit nécessite seulement deux fonctions de base, la fonction `setup ()` et la fonction `Loop ()`.

La structure principale du langage de programmation Arduino est relativement simple et fonctionne en au moins deux parties. Ces deux éléments sont des parties nécessaires de fonctions, entouré de blocs d'énoncés, Parlons de la structure Arduino :

- La première fonction « `Void setup ()` » est la préparation dans le programme Arduino.
- La fonction « `Loop ()` » s'exécutera exactement comme son nom l'indique et boucle consécutivement, permettant à votre programme de changer et de réagir.

La figure ci-dessous (Figure III.2) représente le fonctionnement d'un programme arduino :

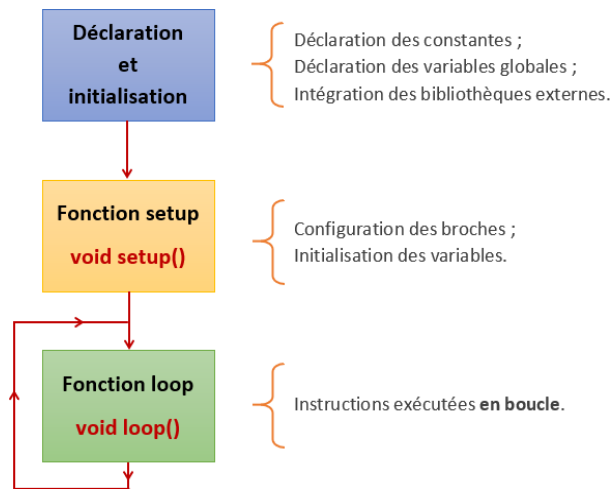


Figure III.2 : Fonctionnement d'un programme Arduino.

La fonction `setup()` ne s'exécute qu'une seule fois lorsque l'Arduino est sous tension. Toute déclaration de variable doit être déclarée au tout début du programme. La carte de développement Arduino dispose de nombreuses broches d'E/S basées sur le modèle, ces broches d'E/S peuvent être utilisées en entrée comme en sortie, nous avons à déclarer dans la boucle `Setup()`. Si vous envisagez d'utiliser la communication série dans le programme Arduino ceci doit être déclaré dans la boucle `Setup()`.

La figure suivante (Figure III.3) permet de mieux comprendre l'interface de logiciel Arduino.

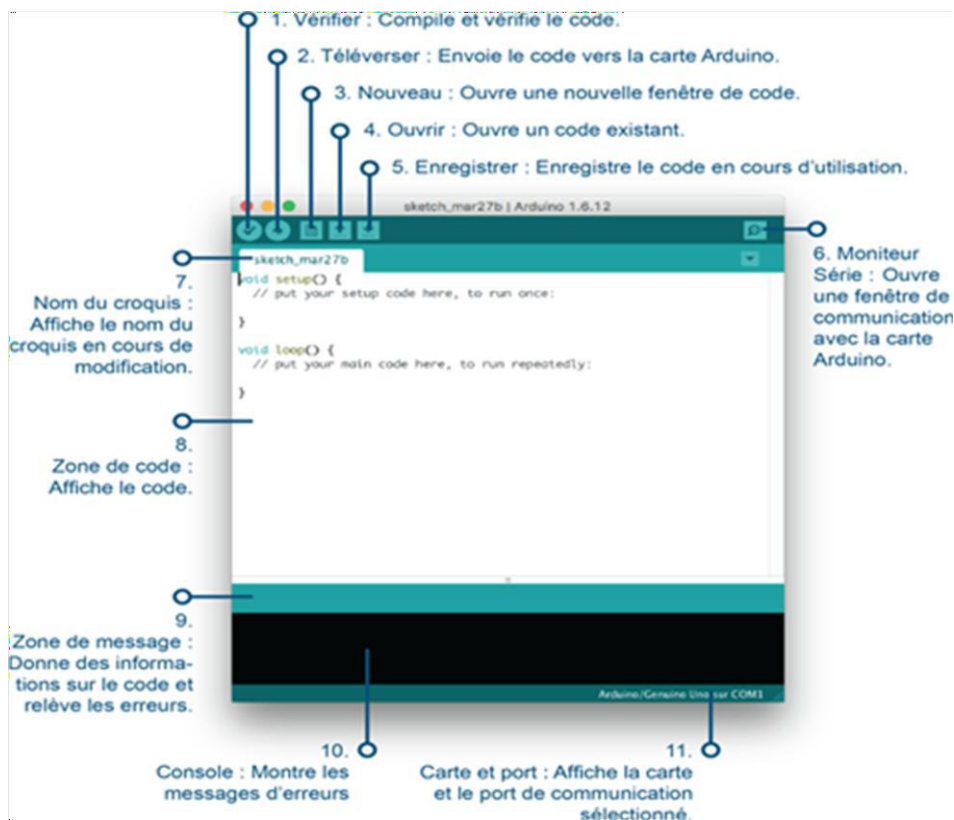


Figure III.3 : L'interface de logiciel Arduino IDE.

### III.4. Installation et configuration du module ESP32 pour Arduino IDE :

#### III.4.1. Installation du module ESP32 pour Arduino :

Ouvrir la fenêtre Préférences dans l'IDE Arduino. Allez dans " Fichier " → " Préférences " Figure (III.4).

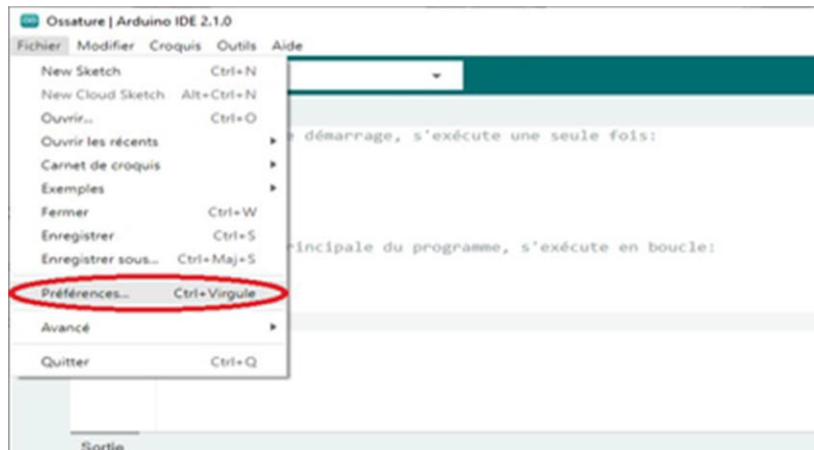


Figure III.4 : Installation du module ESP32 pour Arduino IDE.

Entrer [https://raw.githubusercontent.com/espressif/arduino-esp32/gh-pages/package\\_esp32\\_index.json](https://raw.githubusercontent.com/espressif/arduino-esp32/gh-pages/package_esp32_index.json) dans le "URL de gestionnaire de carte supplémentaire" comme illustré dans la (Figure III.5) ci-dessous. Ensuite, cliquer sur le bouton "OK".

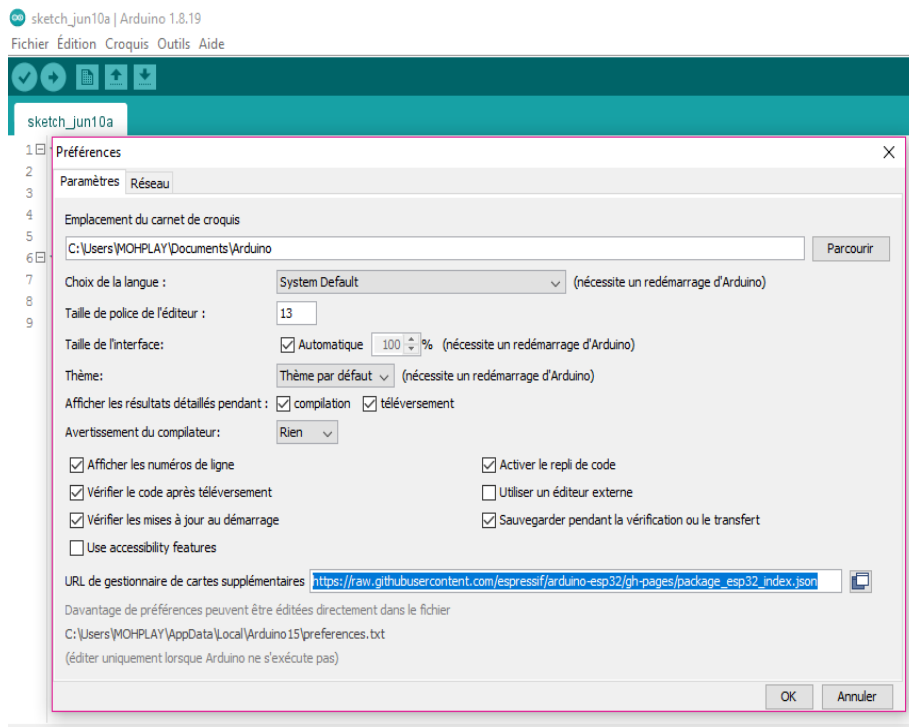


Figure III.5 : Installation du module ESP32 pour Arduino IDE.

Ouvrir "Outils" → "type de carte" → "gestionnaire de carte", rechercher ESP32 et appuyer sur le bouton d'installer (Figure III.6).

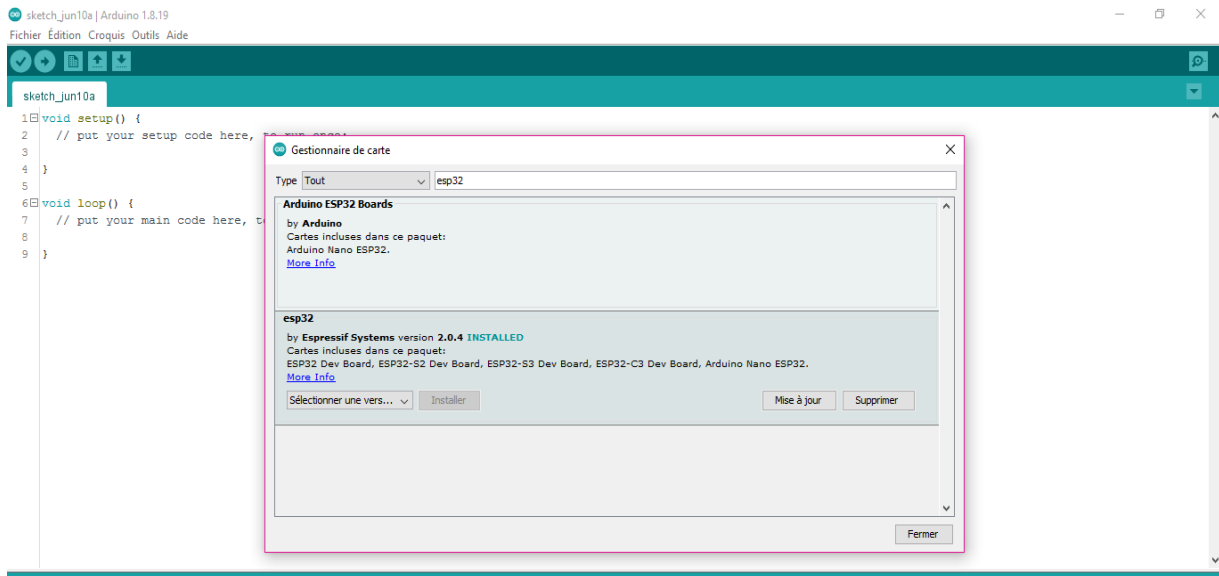


Figure III.6 : Installation du module ESP32 pour Arduino IDE.

Enfin, redémarrer Arduino IDE. Aller ensuite dans " Tools 3 Board " il y a toutes les cartes ESP32 :

### III.4.2. Configuration de l'ESP32 dans Arduino :

Ouvrir: "tools" → " board " → "esp32" → " esp32 Dev Module " (figure III.7).

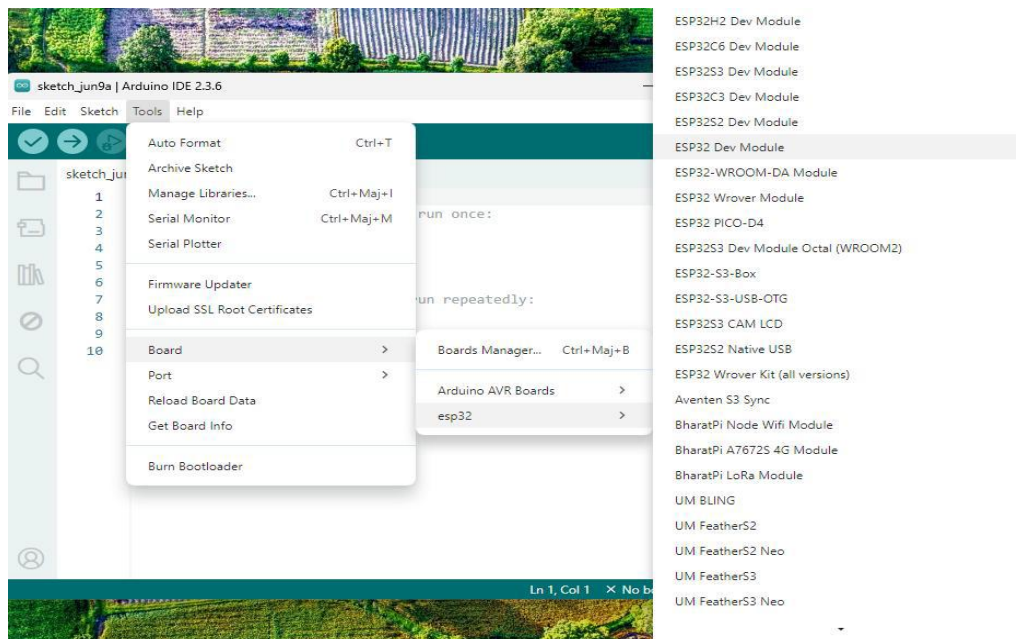


Figure III.7 : Configuration de l'esp32 dans arduino.

### III.4.3. Configuration de la carte ESP32-Cam dans le logiciel Arduino IDE :

Dans le menu “Outils”, choisissez l’élément commençant par “Carte”, “esp32” et enfin “AI Thinker ESP32-CAM”. Voir la (Figure III.8) :

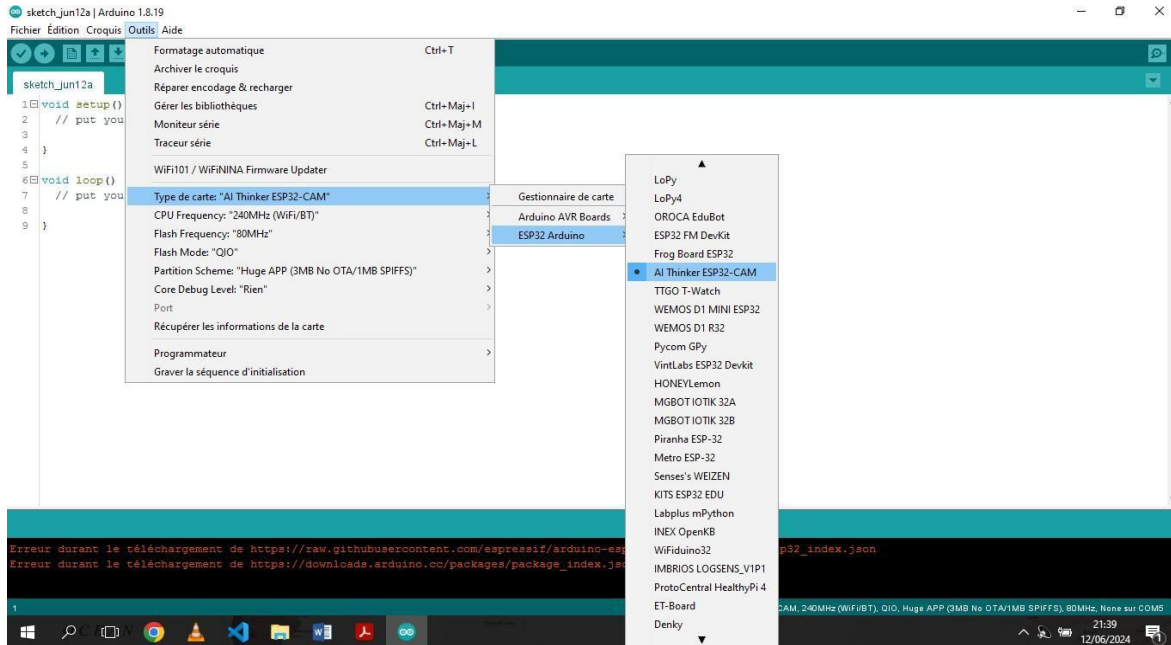


Figure III.8 : choisir le type de carte.

Ouvrir « exemple » → « esp32 » → « camera » → « CameraWebServer » (Figure III.9).

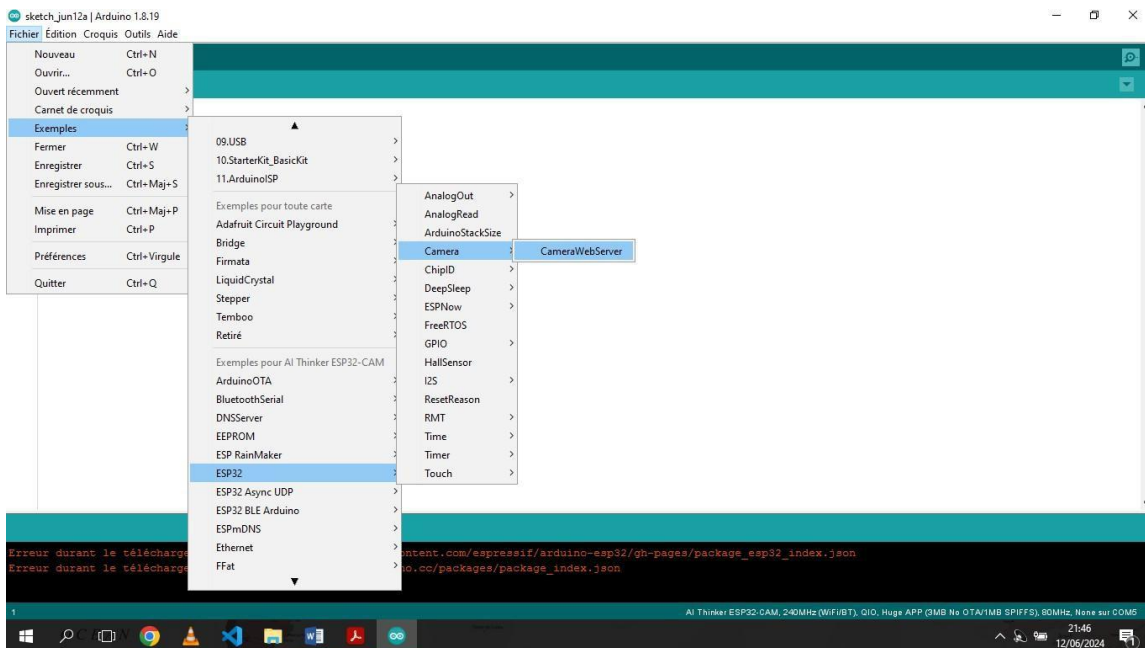


Figure III.9 : étapes pour afficher le code de configuration d’esp32cam.



```

CameraWebServer | Arduino 1.8.19
Fichier Edition Croquis Outils Aide

CameraWebServer | app_httpd.cpp | camera_index.h | camera_pins.h
17 // #define CAMERA_MODEL_ESP_EYE // Has PSRAM
18 // #define CAMERA_MODEL_ESP32S3_EYE // Has PSRAM
19 // #define CAMERA_MODEL_M5STACK_PSRAM // Has PSRAM
20 // #define CAMERA_MODEL_M5STACK_V2_PSRAM // M5Camera version B Has PSRAM
21 // #define CAMERA_MODEL_M5STACK_WIDE // Has PSRAM
22 // #define CAMERA_MODEL_M5STACK_ESP32CAM // No PSRAM
23 // #define CAMERA_MODEL_M5STACK_UNITCAM // No PSRAM
24 #define CAMERA_MODEL_AI_THINKER // Has PSRAM
25 // #define CAMERA_MODEL_TTGO_T_JOURNAL // No PSRAM
26 /** Espressif Internal Boards **
27 // #define CAMERA_MODEL_ESP32_CAM_BOARD
28 // #define CAMERA_MODEL_ESP32S2_CAM_BOARD
29 // #define CAMERA_MODEL_ESP32S3_CAM_LCD
30
31 #include "camera_pins.h"
32
33 // =====
34 // Enter your WiFi credentials
35 // =====
36 const char* ssid = "*****";
37 const char* password = "*****";
38
39 void startCameraServer();
40
41 void setup() {
42   Serial.begin(115200);
43   Serial.setDebugOutput(true);

```

**Figure III.10** : code arduino de configuration esp32cam.

Dans la section de programme suivante est montrée la manière avec laquelle se fait la connexion au réseau wifi. Dans cette fonction, « ssid » est le nom du réseau et « password » le mot de passe d'accès au réseau, comme présente la (Figure III.11).

```

// #define CAMERA_MODEL_ESP32S3_CAM_LCD

#include "camera_pins.h"

// =====
// Enter your WiFi credentials
// =====
const char* ssid = "*****";
const char* password = "*****";

```

**Figure III.11** : connexion de l'esp32cam au Wifi.

Après avoir Remplacez le « ssid » et le « password » par le nom Wi-Fi et le mot de passe, on sélectionne le port correspondant à l'ESP32-CAM en assurant que le câble USB est bien branché, on compile et on téléverse le code.

En appuyant sur le bouton "Ouvrir le moniteur série", un message indiquant que le site web est disponible doit s'afficher. Figure (III.12).

```
39  const char *ssid = "iPhone";
40  const char *password = "Alger2001";
41
42  void startCameraServer();
43  void setupLedFlash(int pin);
44
45  void setup() {
46    Serial.begin(115200);
47    Serial.setDebugOutput(true);

```

Sortie Moniteur série x

Message (Enter to send message to 'ESP32 Wrover Module' on 'COM4')

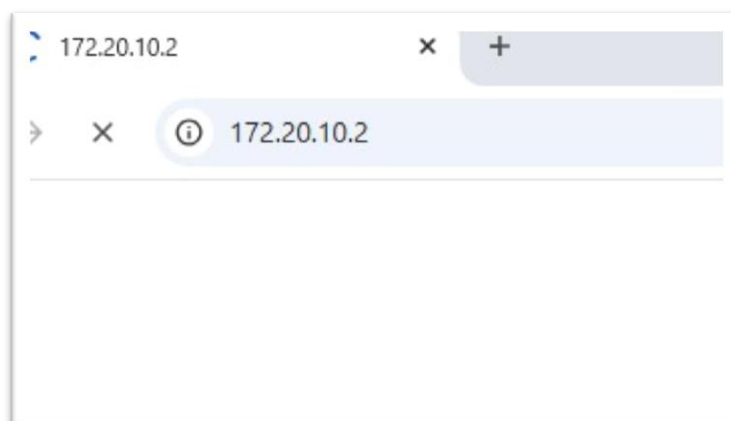
```
load:0x00000000,len:1000
load:0x40078000,len:16516
load:0x40080400,len:4
load:0x40080404,len:3476
entry 0x400805b4

WiFi connecting.....
WiFi connected
Camera Ready! Use 'http://172.20.10.2' to connect

```

**Figure III.12** : Adresse IP affichée sur le moniteur série.

Ouvrir un navigateur web et entrez l'adresse IP affichée. Figure (III.13).



**Figure III.13** : Ouverture d'un navigateur web avec adresse IP.

Après avoir accéder au site web de la caméra ESP32-CAM, une page web très basique apparaîtra, on clique sur le bouton « Start Stream », pour démarrer le flux vidéo de la caméra. Figure (III.14).

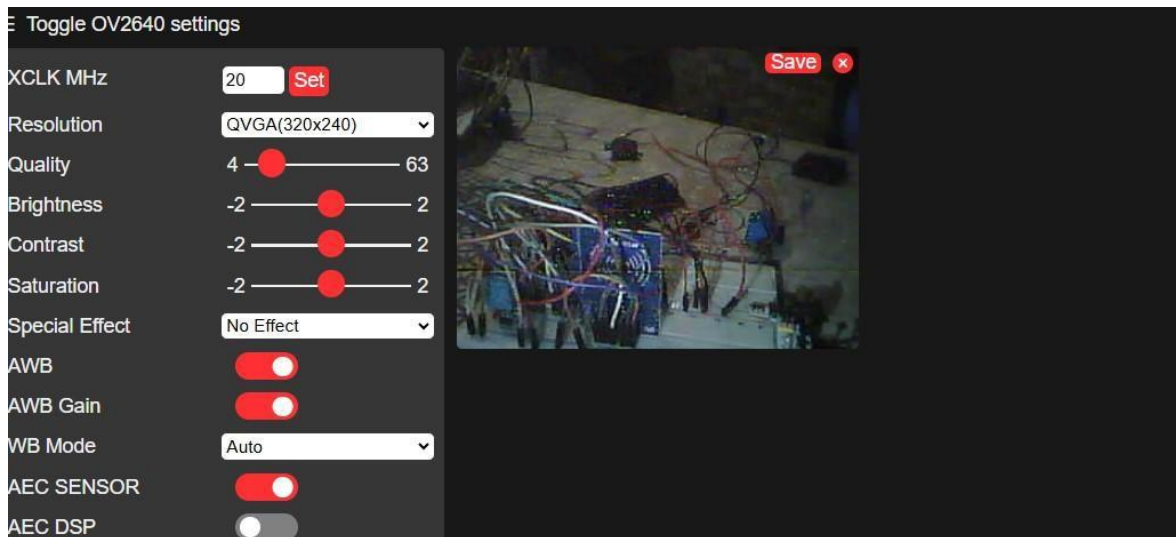


Figure III.14 : Photo prise par ESP32-CAM.

- **Fonctionnement :**

Le système de surveillance pour la salle machine a compresseur de gaz utilisera ESP32-CAM pour suivre le processus en temps réel, permettant aux ingénieurs de surveiller les événements à distance via un site web.

La caméra ESP32-CAM est installée dans l'étable, orientée pour capturer une vue claire à l'intérieure de la salle machine. Grâce à sa connexion Wi-Fi, la caméra transmet des images et des vidéos en direct à partir de n'importe où, tant que vous avez accès à Internet.

Ce système de surveillance permet une observation continue en assurant que les ingénieurs peuvent intervenir rapidement en cas de besoin et d'urgence.

#### III.4.4 Fonctions de la bibliothèque Wi-Fi ESP32 (IDE Arduino) :

Les bibliothèques Wi-Fi prennent en charge la configuration et la surveillance des fonctionnalités Wi-Fi ESP32. Cela inclut une configuration pour :

- ✓ Mode station (également appelé mode STA ou mode client Wi-Fi). ESP32 se connecte à un point d'accès.
- ✓ Mode AP (également appelé mode Soft-AP ou mode point d'accès). Les stations se connectent à l'ESP32.
- ✓ Mode de cohabitation Station/AP (ESP32 est à la fois un point d'accès et une station connectée à un autre point d'accès).
- ✓ Différents modes de sécurité pour ce qui précède (WPA, WPA2, WEP, etc.) [40]

➤ **La bibliothèque Wi-Fi :**

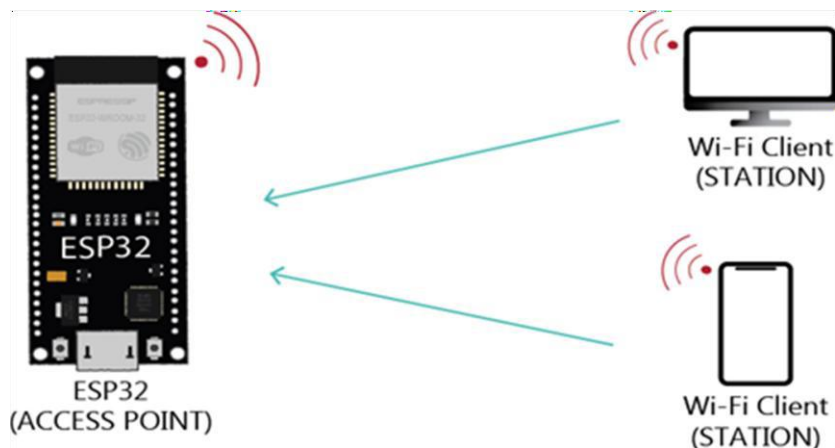
La première chose à faire pour utiliser les fonctions Wi-Fi ESP32 est d'inclure la bibliothèque WiFi.h dans le code spécial, comme suit :

```
#include <WiFi.h>
```

➤ **Point d'accès :**

Lorsque vous définissez votre carte ESP32 comme point d'accès, vous pouvez être connecté à l'aide de n'importe quel appareil doté de capacités Wi-Fi comme est montré dans la (figure III.15) sans vous connecter à votre routeur. Lorsque vous définissez l'ESP32 comme point d'accès, vous créez son propre réseau Wi-Fi et les périphériques Wi-Fi (stations) à proximité peuvent s'y connecter, comme votre smartphone ou votre ordinateur. Ainsi, vous n'avez pas besoin d'être connecté à un routeur pour le contrôler [40].

Cela peut également être utile si vous souhaitez que plusieurs périphériques ESP32 communiquent entre eux sans avoir besoin d'un routeur.



**Figure III.15.** Connexion au Wifi

➤ **Définir ESP32 comme point d'accès :**

Pour définir ESP32 comme point d'accès, réglez le mode Wi-Fi sur le point d'accès :

WiFi.mode (WIFI\_AP) et puis, utilisez la méthode softAP comme suit

```
WiFi.softAP(ssid, password);
```

Ssid est le nom donné au point d'accès esp32 et la variable password est le mot de passe du point d'accès. Si nous ne définissons pas de mot de passe, nous le définissons sur NULL.

Il existe également d'autres paramètres facultatifs que vous pouvez transmettre à softAP. Voici tous les paramètres :

```
WiFi.softAP(const char* ssid, const char* password, int channel, int ssid_hidden, int max_connection)
```

- ssid : nom du point d'accès 3 maximum de 63 caractères;
- Password : minimum de 8 caractères ; set to NULL si vous souhaitez que le point d'accès soit ouvert ;

- Channel : Wi-Fi numéro de canal (1-13)
- ssid\_hidden: (0 = broadcast SSID, 1 = hide SSID)
- Max connection : nombre maximal de clients connectés simultanément (1-4)

### III.5. Configuration de la plateforme Blynk IoT dans l'ESP32 :

#### III.5.1. La définition :

Blynk est une plateforme (figure III.16) complète dédiée à l'Internet des objets (IoT) qui permet de connecter des appareils électroniques au cloud, de concevoir des applications mobiles pour les contrôler et les surveiller à distance, et de gérer des milliers de produits déployés. Elle fournit des outils logiciels, des micro services, des bibliothèques compatibles avec de nombreux microcontrôleurs (comme Arduino, ESP8266, ESP32, Raspberry Pi), ainsi que des solutions web et mobiles pour faciliter la création d'interfaces utilisateur sans nécessiter de compétences en programmation mobile. La plateforme Blynk comprend notamment :

- Une application mobile (iOS et Android) où l'on peut créer des projets IoT en glissant-déposant des widgets graphiques pour interagir avec le matériel connecté.
- Un serveur cloud (Blynk.Cloud) qui fait le lien entre l'application et les appareils.
- Une bibliothèque C++ (Blynk Library) pour la communication bidirectionnelle à faible latence entre le matériel et le cloud.
- Des micro services pour la gestion des utilisateurs, l'authentification, la configuration Wi-Fi des appareils, et les mises à jour à distance du firmware<sup>2</sup>

Blynk est une application mobile et une plateforme cloud qui permet de connecter et contrôler à distance des objets électroniques via Internet.

#### III.5.2 Composants principaux de Blynk :

➤ Application Blynk (Mobile App) :

Permet de créer une interface graphique (tableaux de bord, boutons, sliders, jauges, etc.) pour interagir avec votre projet.

➤ **Blynk Cloud (ou serveur local) :**

Sert d'intermédiaire entre l'application et l'objet connecté. Il gère les communications en temps réel.

➤ **Blynk Library :**

Un ensemble de bibliothèques que l'on installe sur le microcontrôleur (comme un Arduino ou ESP32) pour communiquer avec le Blynk Cloud.

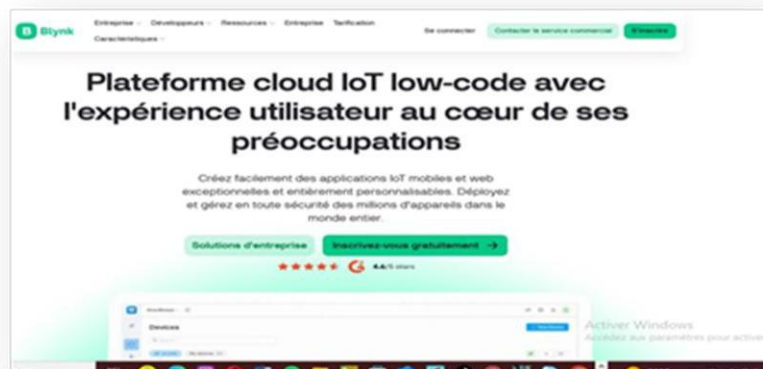


Figure III.16: Interface de la plateforme Blynk

### III.5.3 Description du service Blynk :

Ce service Web vous permet de poster des messages vers divers moyens de communication : Twitter, Mail, Push 4G (Android et IOS), message d’alerte, Karotz. Il vous propose d’accéder à ces différents modes avec une simple url.

Ce service est gratuit, complet, performant (les notifications arrivent rapidement), facile à utiliser, et possède une interface soignée.

### III.5.4. Configuration de la plateforme blynk :

L’application a une plate-forme gratuite incroyable et puissante que vous aidez si vous construisez un projet d’Internet des objets. Les prochaines étapes vont montrer comment un smartphone Android ou iOS, ou bien un PC recevra une notification push, en utilisant la plateforme blynk.

#### ❖ Étape 1 : Configurer le service blynk (gratuit)

«blynk est un service Internet qui permet d’envoyer des SMS, de gérer les notifications et d’envoyer des fichiers entre vos appareils mobiles et votre ordinateur. »

Tout d’abord, vous devez aller à blynk et créer un nouveau compte gratuit, activez votre compte, connectez-vous sur le site et vous verrez l’écran suivant : (figureIII.17).

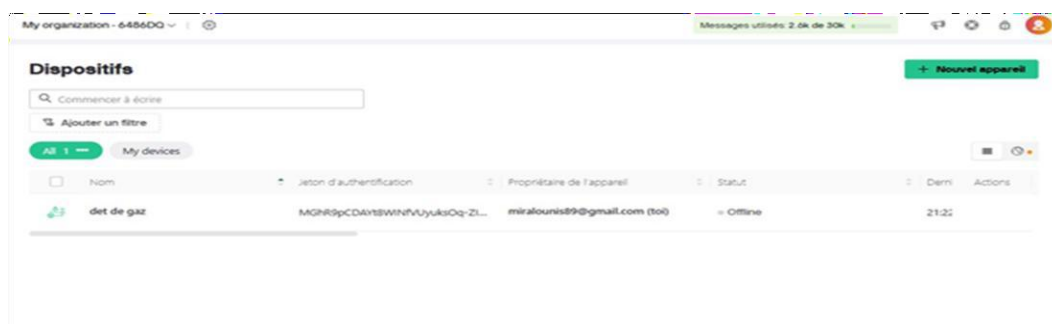


Figure III.17 : création d’un compte (dispositif).

Ensuite, dès que le compte est actif, il va nous déclarer le

```
#define BLYNK_TEMPLATE_ID "TMPL2e6kSDCOo"
```

```
#define BLYNK_TEMPLATE_NAME "det de gaz"
```

Et le jeton d'authentification : MGhR9pCDAYt8WINfVUyuksOq-ZIGMama

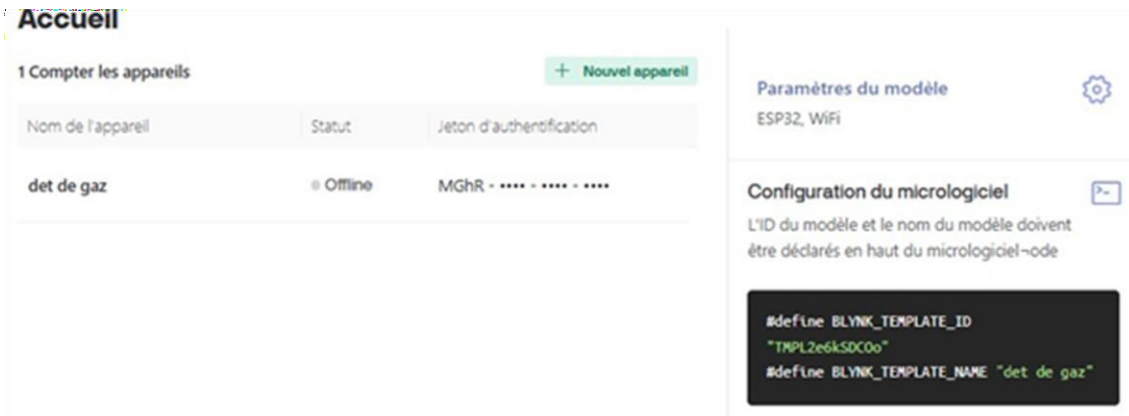


Figure III.18 : activation de jeton d'authentification

❖ **Étape 2** : Configuration des broches virtuelles et activation des notifications concernant la plateforme :

- Premièrement, allez aux flux des données et cliquer sur ajouter un nouveau flux et compléter le tableau (nom, le pin virtuel, le min, le max) comme est montré dans la figure suivante (figure III.19).

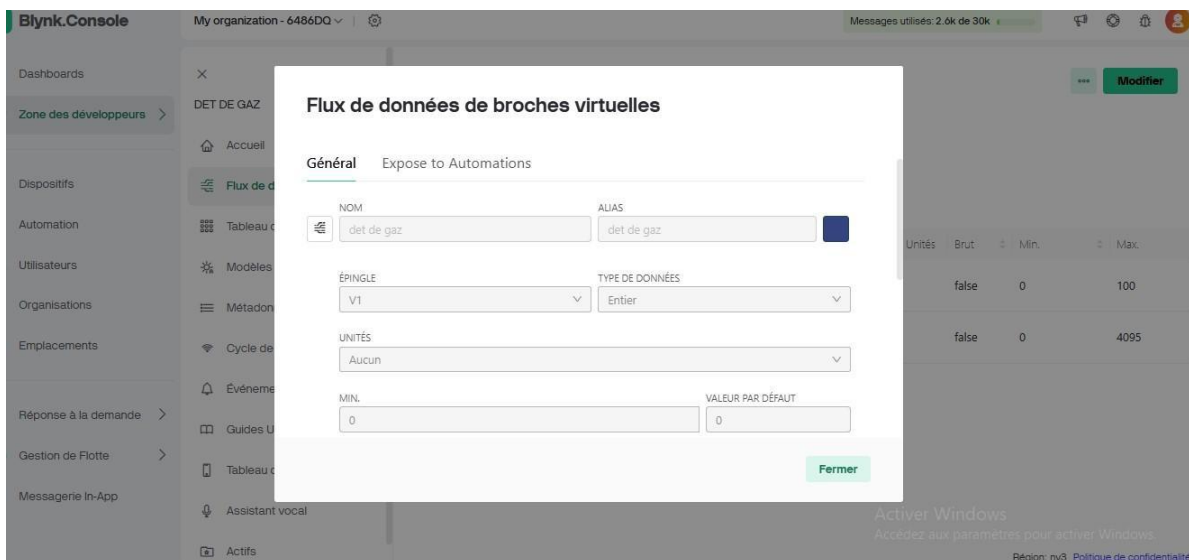


Figure III.19 : les broches virtuelles de la plateforme

- **Deuxièmement** : clique sur le tableau de bord Web (figure III.20) pour choisir une jauge que ça sera nommé par (det de gaz) et on va ajouter un seuil de gaz.

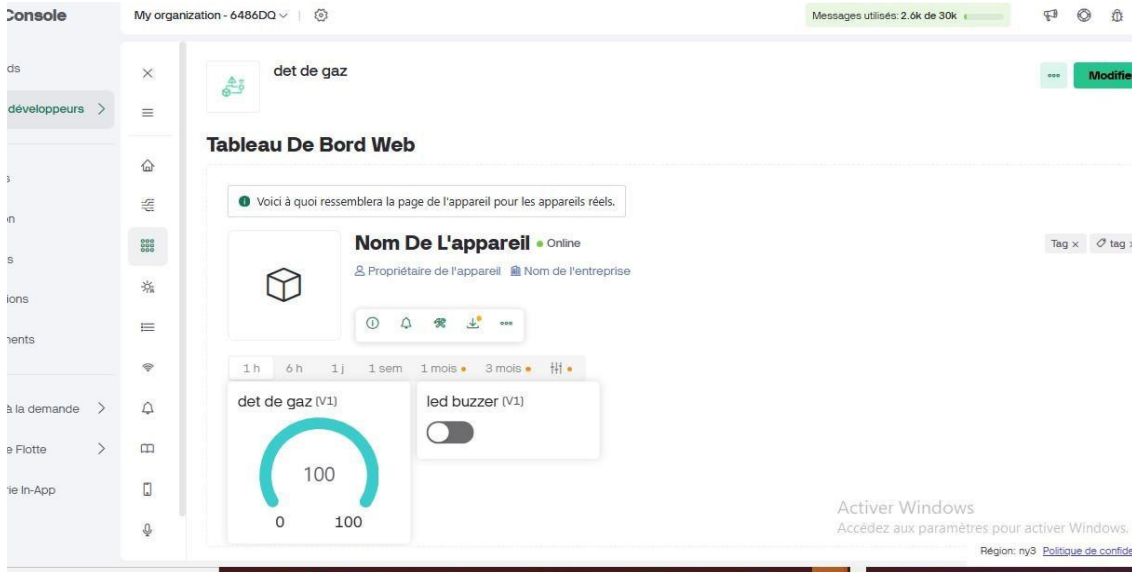


Figure III.20 : configuration dans le tableau de bord.

- Ensuite, allez aux évènements et notification et clique sur ajouter pour ajouter une nouvelle notification (det de gaz) et cliquer sur activer les notifications comme est illustré dans la figure suivante (figure III.21).

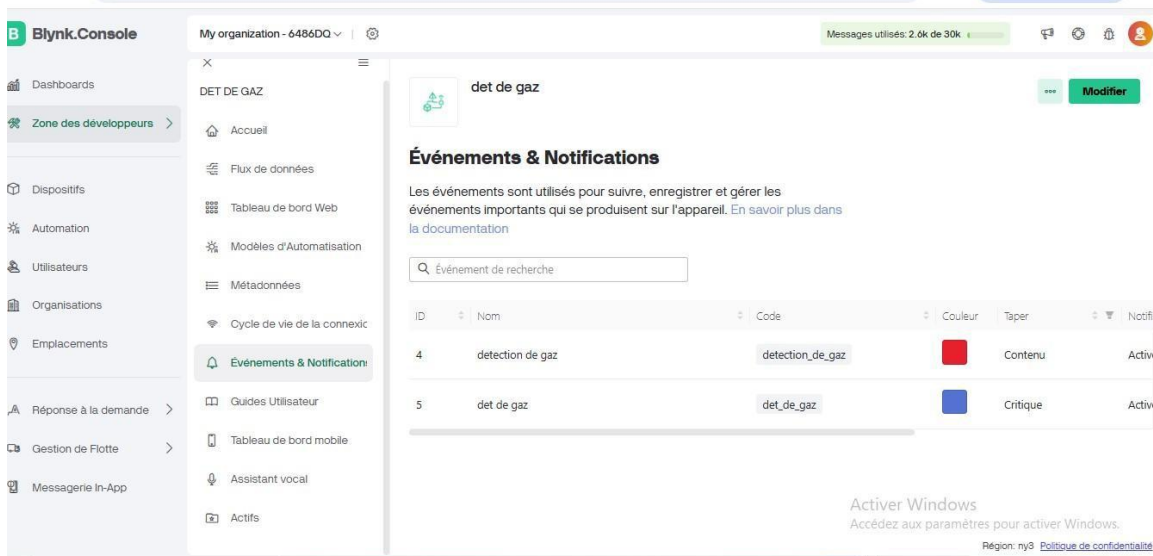


Figure III.21: création de la notification

### III.5.5. Connexion des composants à la carte esp32 via une application blynk :

Pour brancher le capteur MQ-2 à la carte esp32, il faut brancher les broches suivantes:

- La broche A0 du capteur à la broche analogique A0 de la carte.
- La broche VCC du capteur à l'alimentation 3,3 V de la carte.

- La broche GND du capteur à la broche GND de la carte.

### III.5.6. Le fonctionnement de l'application avec le capteur de gaz :

On trouvera deux cas :

- Le premier cas dans l'**état normale** (aucune fuite de gaz) comme est montré dans la figure au-dessous :

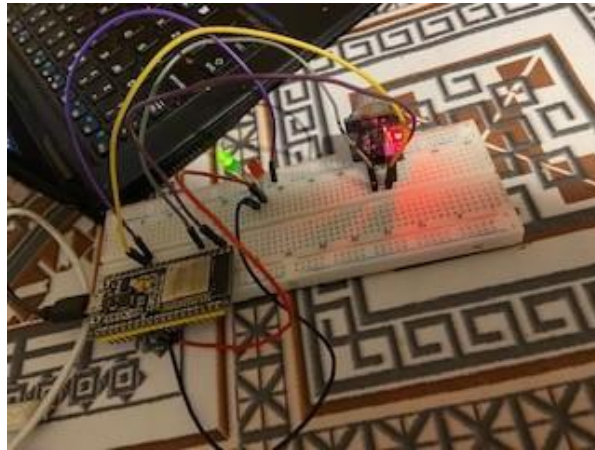


Figure III. 22 : allumage de LED vert (état normale)

- Le deuxième cas l'**état d'urgent** (une fois la fuite de gaz est détectée), Le branchement est illustré par la figure suivante:

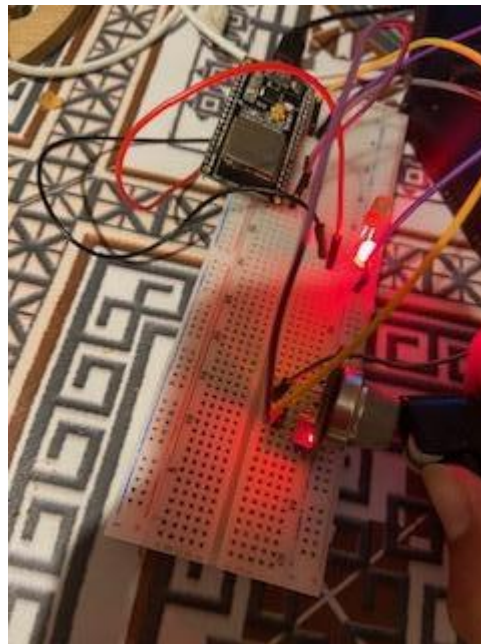
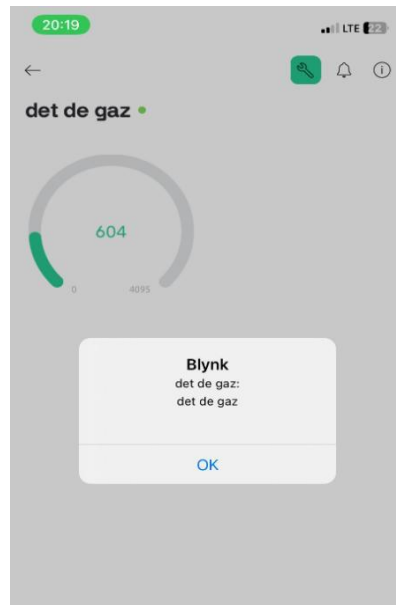


Figure III.23 : allumage de LED rouge (cas d'urgent)

- Ensuite, nous recevons une notification au smart phone comme suit dans la figure au-dessous :



**Figure III.24** : la notification reçue (fuite de gaz détectée)

### III.5.7. Programmation de la carte esp32 avec capteur de gaz connecté à l'application blynk :

```

1  #define BLYNK_TEMPLATE_ID "TMPL2e6kSDCOo"
2  #define BLYNK_TEMPLATE_NAME "det de gaz"
3  #define BLYNK_AUTH_TOKEN "MGhR9pCDAYt8WINfVUyuku0q-ZIGMama"
4  #define BLYNK_PRINT Serial
5  #include <WiFi.h>
6  #include <WiFiClient.h>
7  #include <BlynkSimpleEsp32.h>
8  BlynkTimer timer;
9
10 // Récupérer le code d'authentification de l'appareil sur Blynk
11 char auth[] = BLYNK_AUTH_TOKEN;
12
13 // Set password to "" for open networks.
14 char ssid[] = "iPhone";
15 char pass[] = "Alger2001";
16
17 #define MQ2 34
18 #define GREEN 16
19 #define RED 17
20 int sensorValue = 0;
21 boolean state = false;
22
23 void setup()
24 {
25   // Debug console
26   Serial.begin(115200);
27   Blynk.begin(auth, ssid, pass);
28   pinMode(MQ2, INPUT);
29   pinMode(GREEN, OUTPUT);
30   pinMode(RED, OUTPUT);
31   timer.setInterval(1000L, sendUptime);

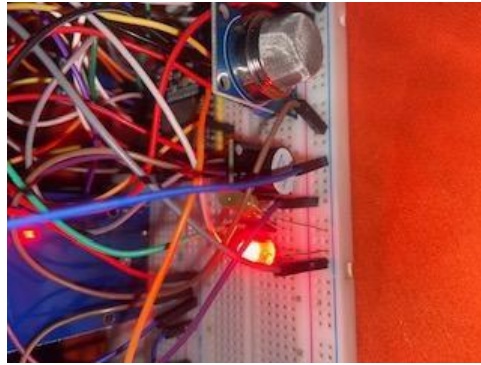
```

Figure III.25 : le code sur esp32 de capteur de gaz connecté à blynk.

## III.6. Expérimentation en conditions réelles :

### III.6.1. Déclenchement de buzzer allumage de led rouge :

Au même moment où la notification est reçue par l'application, la LED rouge s'allume et le buzzer émet une alerte :(figureIII.26).



**Figure III.26 :** déclenchement de buzzer et allumage de led rouge

### III.6.2. Fermeture des servomoteurs :

Dès réception d'une alerte indiquant une fuite de gaz accompagnée d'une élévation de température, les servomoteurs sont automatiquement actionnés afin de fermer les vannes d'alimentation en gaz vers la zone de production des compresseurs, comme illustré dans la figure ci-dessous :



**Figure III.27:** Fermeture des servomoteurs.

### III.6.3. Déclenchement de ventilateur :

Une fois les servomoteurs activés, le ventilateur relié au relais se met en marche afin d'assurer l'aération et le refroidissement de la salle machine. Le branchement est montré dans la figure suivante :



**Figure III.28 :** déclenchement de ventilateurs

### III.6.4. La caméra de surveillance :

La salle des machines sera surveillée par une caméra afin d'assurer la sécurité. Le système sera programmé à l'aide d'un ESP32 avec l'utilisation de esp-cam. Le schéma de montage est présenté ci-dessous."

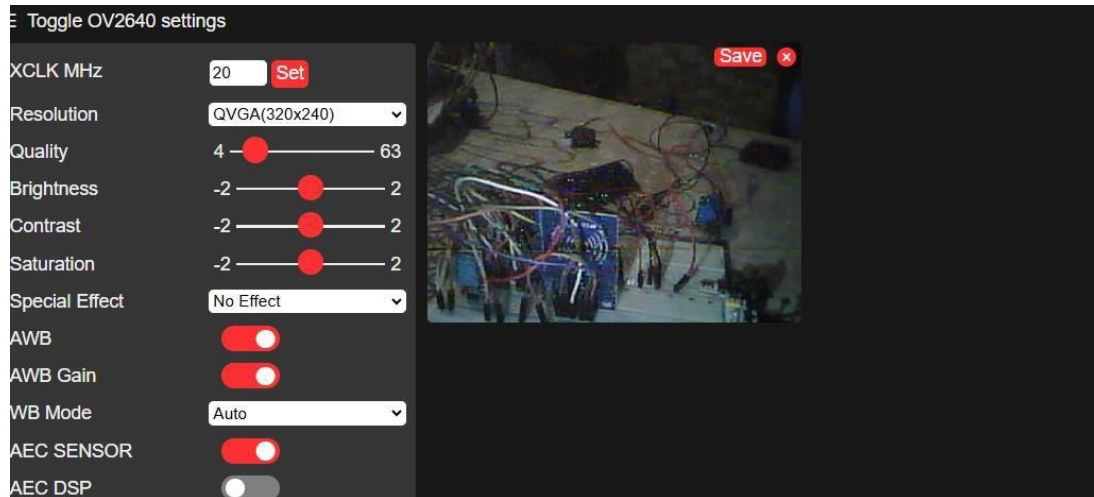


Figure III.29 : capteur de la maquette

### III.6.5. Ouverture la porte de la salle :

Afin de renforcer la sécurité de la salle des machines, un système de contrôle d'accès sans contact a été mis en place. La porte de la salle s'ouvrira et se fermera automatiquement à l'aide d'un système RFID. Chaque utilisateur autorisé dispose d'une carte RFID unique qui, une fois détectée par le lecteur, déclenche l'ouverture de la porte. Ce mécanisme garantit un accès sécurisé et traçable.

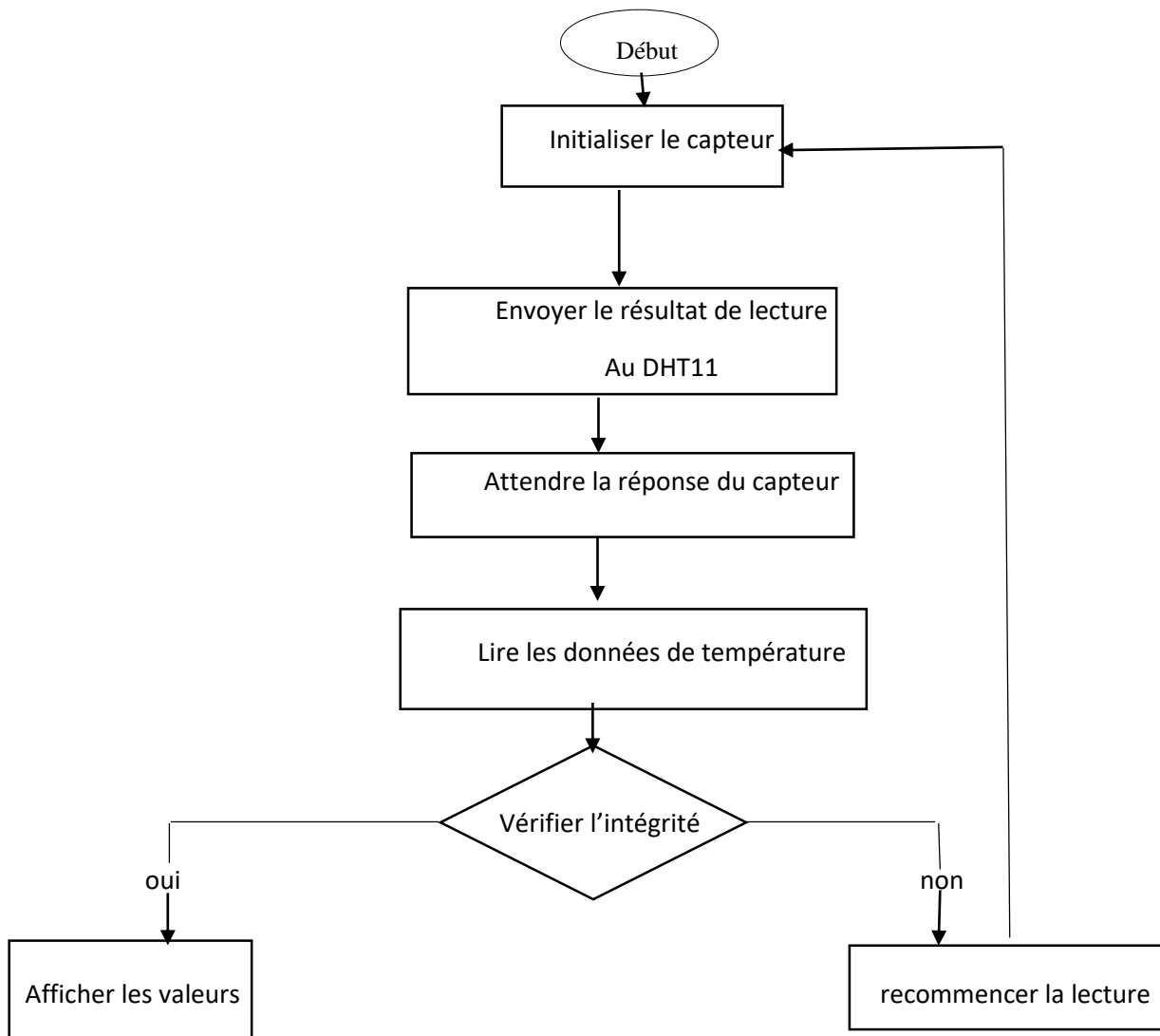
L'ensemble du système est programmé à l'aide d'un microcontrôleur ESP32, qui gère la lecture des cartes. Cette porte ne s'ouvre que pour les personnes autorisées. Lorsqu'une carte d'accès est présentée, le système vérifie son autorisation et affiche le nom de la personne ayant l'accès. Comme est montré dans la (figure III.30) au-dessous :



Figure III.30 : l'accès des personnes autorisées de rentrer.

**III.7. Développement des programmes (organigrammes):****III.7.1. Organigramme de capteur dht11 :**

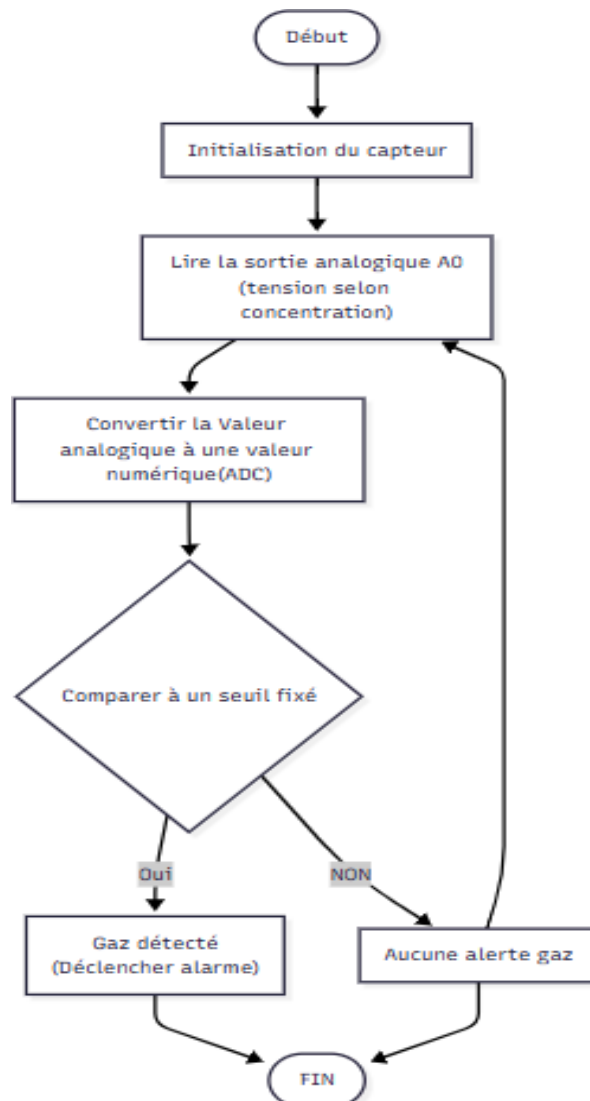
L'organigramme de capteur dht11 est présenté dans la figure au-dessous (figureII.31) :



**FigureIII.31** :l'organigramme du capteur dht11.

**III.7.2. Organigramme de capteur MQ2 :**

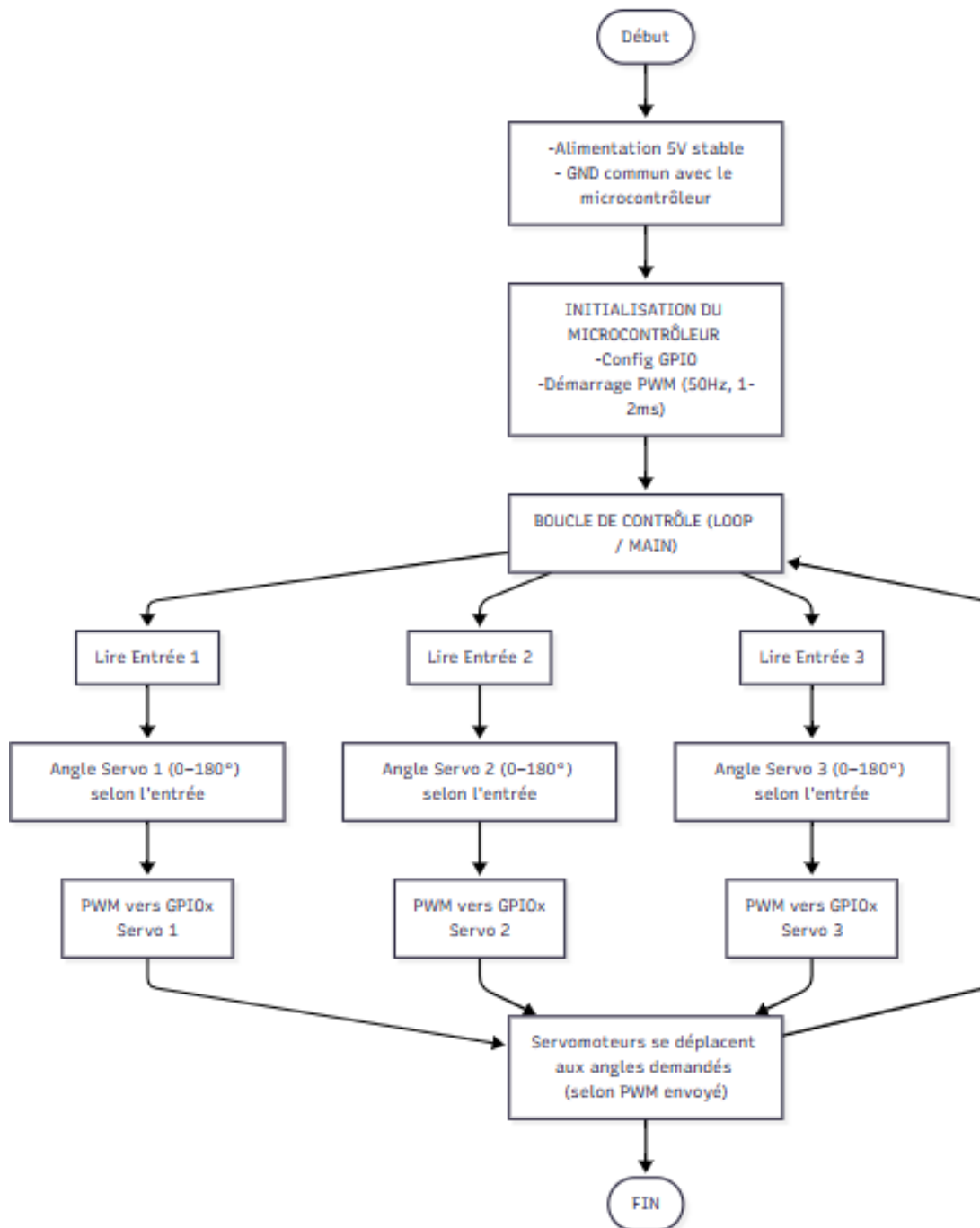
L'organigramme de capteur MQ2 est présenté dans la figure au-dessous (figureII.32) :



**FigureIII.32** :l'organigramme du capteur MQ2.

II.7.3. Organigramme des servomoteurs :

L'organigramme des servomoteurs est illustré au-dessous dans la (figureIII.33) :



FigureIII.33 : l'organigramme des servomoteurs.

**III.8.Conclusion :**

Ce chapitre a permis de concrétiser une solution intelligente et automatisée pour la surveillance et la sécurité d'une salle de machines à compresseurs de gaz. Grâce à l'intégration de la carte ESP32, de capteurs, d'actionneurs et d'une plateforme de contrôle à distance comme Blynk, le système mis en place réagit de manière autonome face aux situations critiques (comme les fuites de gaz), tout en offrant un accès sécurisé et une supervision en temps réel. L'ensemble des fonctionnalités, testées en conditions réelles, démontre la pertinence des technologies IoT dans les environnements industriels, apportant une réponse fiable aux exigences de sécurité, d'efficacité et de connectivité.

# **Conclusion Générale**

### Conclusion Générale :

Ce mémoire a mis en évidence en lumière les problèmes techniques, sécuritaires et organisationnels liés à la gestion des salles machines industrielles, tout en démontrant l'apport significatif des technologies IOT dans leur surveillance et leur automatisation.

Tout d'abord, l'étude des salles des machines a révélé leur rôle central dans les infrastructures industrielles modernes. De telles salles techniques, abritant des équipements essentiels tels que des compresseurs, des moteurs ou des générateurs, doivent répondre à des exigences strictes en matière de performance, de sécurité et de fiabilité. Tant leur conception que leur fonctionnement présentent une série de défis associés à la dissipation thermique, aux nuisances acoustiques, à la qualité de l'air, ainsi qu'à la conformité avec les normes industrielles les plus récentes.

Ensuite, une architecture de système IOT a été définie et développée, basée sur l'utilisation de composants matériels adaptés tels qu'une carte ESP32, capteur de gaz MQ2, des modules de communication sans fil et une interface de contrôle mobile via la plateforme Blynk. L'ensemble du système a été conçu pour offrir une surveillance en temps réel, détecter les anomalies, automatiser les réponses face aux incidents (comme l'activation des ventilateurs ou la fermeture d'électrovannes) et mettre en œuvre un contrôle d'accès sécurisé via RFID.

Enfin, le déploiement réel du système a démontré sa capacité à répondre de manière autonome aux situations d'urgence, tout en offrant une interface de supervision à distance ouverte et facile à utiliser. Les tests réalisés en conditions réelles ont validé l'efficacité de la solution, démontrant la faisabilité des technologies IOT pour l'amélioration de la sécurité, de la connectivité et de l'efficacité des environnements industriels.

En conclusion, ce projet confirme qu'une solution IOT bien conçue est une alternative fiable, abordable et évolutive aux systèmes de surveillance industrielle traditionnels. Il laisse également la possibilité d'ajouts futurs, tels que l'intégration d'algorithmes intelligents pour l'analyse prédictive, l'optimisation de l'énergie, ou même le contrôle centralisé à distance de plusieurs sites.

# **Bibliographie**

# Bibliographie

- [1] [https://fr.wikipedia.org/wiki/Salle\\_des\\_machines](https://fr.wikipedia.org/wiki/Salle_des_machines)
- [2] <https://www.techniques-ingenieur.fr/base-documentaire/mecanique-th7/outillage-machine-outil-et-chaine-numerique-pour-le-travail-des-materiaux-42511210/fraiseuses-et-centres-d-usinage-b7160/differents-types-de-machines-b7160niv10002.html>
- [3] <https://montfort-international.com/perceuses-et-taraudeuses/>
- [4] REMLI Fethi, « L'effet d'usinage par tournage sur un acier XC18. », Doctorat en sciences en : Génie Mécanique, Université Mohamed Khider – Biskra(2016)
- [5] <http://www.calcule.fr/article/asynchrone.ir4/>
- [6] [https://fr.demotor.net/moteurs-thermiques/composants?utm\\_source=chatgpt.com](https://fr.demotor.net/moteurs-thermiques/composants?utm_source=chatgpt.com)
- [7] <https://umvie.com/cycle-a-4-temps-fonctionnement-avantages-et-applications/>
- [8] <https://tameson.fr/pages/moteurs-pneumatiques-a-palettes>
- [9] <https://technology.bibus.com/ch-fr/produits/pneumatik-prozess-vakuum-technik-pneumatische-antriebe/druckluft-motor-ptm-druckluft-motor/>
- [10] <https://extension.psu.edu/understanding-natural-gas-compressor-stations>
- [11] <https://www.ganorme.cq/expertise/types-pompes-industriels/>
- [12] [https://fr.wikipedia.org/wiki/Automate\\_programmable\\_industriel](https://fr.wikipedia.org/wiki/Automate_programmable_industriel)
- [13] <https://www.copadata.com/fr/produits/zenon-software-platform/quest-ce-que-une-ihm-interface-homme-machine/>
- [14] [https://fr.wikipedia.org/wiki/Groupe\\_%C3%A9lectrog%C3%A8ne](https://fr.wikipedia.org/wiki/Groupe_%C3%A9lectrog%C3%A8ne)
- [15] <https://grupel.eu/fr/faqs/quels-sont-les-principaux-composants-dun-groupe-electrogene/>
- [16] <https://www.emsa.gen.tr/fr/soutien/faq/comment-fonctionnent-les-groupes-electrogenes>
- [17] <https://www.securipro.eu/blog/securite/3-solutions-pour-protger-votre-salle-serveurs-dun-risque-incendie/>
- [18] <https://chaac.tech/formation-incendies-industriels>
- [19] NASRI Lamine et AMARI Anouar, « Etude technique de la sécurité des équipements et des installations industrielles. », mémoire master, Filière : Sécurité Industrielle, Spécialité : Sécurité prévention et intervention, Université d'Oran 2 Mohamed Ben Ahmed (2022).

- [20] <https://staff.univ-batna2.dz/sites/default/files/mansouri-salah/files/risque-industriels.pdf?m=1623580209>
- [21] <https://fr.wikipedia.org/wiki/Capteur>
- [22] <https://www.moussasoft.com/>
- [23] <https://www.orbit-dz.com/product/mq2/>
- [24] <https://fr.scribd.com/presentation/717669573/Ventilateur-Arduino>
- [25] <https://www.locoduino.org/>
- [26] <https://www.amazon.fr/Adaptateur-Alimentation-d'alimentation-adaptateurs-convertisseur/dp/B09KNC7SDQ?th=1>
- [27] ZIDOUR Soumia et KEBAILI Ibtissem, « Etude et réalisation d'un système de télésurveillance avec détection de présence, Basé sur une carte ESP32-CAM. », mémoire master filière : Electronique, Spécialité : Industries électroniques, Université de Mohamed El-Bachir El-Ibrahimi - Bordj Bou Arreridj(2022)
- [28] ABED OUSSAMA et 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 », mémoire master filière : Electronique, Spécialité : Industries électroniques, Université de Mohamed El-Bachir El-Ibrahimi - Bordj Bou Arreridj (2022)
- [29] <https://letmeknow.fr/fr/cartes-compatibles/1788-carte-de-developpement-esp32-cam-camera-bluetooth-wifi-ov2640-0725835041010.html>
- [30] <https://www.proofpoint.com/fr/threat-reference/wifi>
- [31] [www.ugm.univ-mlv.fr/dr/xpose2009/cloudcomputing/index.htm](http://www.ugm.univ-mlv.fr/dr/xpose2009/cloudcomputing/index.htm)
- [32] [www.Brossemathieu.wordpress.com/veille-technologie](http://www.Brossemathieu.wordpress.com/veille-technologie)
- [33] [sites.google.com/site/wifi-beziers](https://sites.google.com/site/wifi-beziers)
- [34] MEZERAI romaissa et MOKHDAR fatima zohra «localisation par WIFI des fuites de gaz via un système IOT.», mémoire master Spécialité : Réseaux et Télécommunications UNIVERSITE ABOU-BAKER BELKAID- TLEMCEN(2020)
- [35] <https://www.eyrolles.com/BTP/Livre/domotique-9782866611828/>
- [36] <https://www.minewstore.com/fr/5-iot-solutions-for-industrial-safety>
- [37] <https://ddruid.io/surveillances-machines-industrielles/>
- [38] <https://www.instructables.com/id/Hardware-Structure-of-ARDUINO-UNO/>
- [39] BOUZIR Rami et KACIMI Athman, « Réalisation d'un bras manipulateur à base D'Arduino », mémoire master Filière : Electronique Option : Electronique des Systèmes Embarqués, Université BOUIRA (2019).

[40] ABED OUSSAMA et 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», mémoire master filière : Electronique, Spécialité : Industries électroniques, *Université de Mohamed El-Bachir El-Ibrahimi - Bordj Bou Arreridj*(2022)

## Résumé

Dans le secteur industriel, les salles de machines abritant des compresseurs à gaz jouent un rôle essentiel au sein des usines. Afin de répondre aux exigences de sécurité et de modernisation, nous avons conçu et réalisé un prototype intelligent basé sur l'Internet des Objets (IOT), en utilisant une carte ESP32 permettant la connexion à un réseau IOT.

Ce système intègre l'application Blynk pour l'envoi d'alertes en cas de détection de fuite de gaz. Lorsqu'une fuite est détectée, plusieurs mesures d'urgence sont automatiquement déclenchées : coupure des contacteurs, fermeture des électrovannes alimentant la zone de production, activation de ventilateurs pour le refroidissement et Aération de l'air de la salle, et surveillance en temps réel à l'aide d'une caméra.

Par ailleurs, l'accès à la salle est sécurisé grâce à un système RFID, ne permettant l'entrée qu'aux personnes autorisées. L'objectif principal de ce prototype est de prévenir les incidents tels que les dégâts matériels ou les incendies, tout en assurant la sécurité des employés et la protection des installations industrielles.

**Les mots clés :** La salle machine, L'IOT.

## Abstract

In the industrial sector, machine rooms housing gas compressors play an essential role within factories. To meet safety and modernization requirements, we designed and developed an intelligent prototype based on the Internet of Things (IOT), using an ESP32 board to connect to an IOT network.

This system integrates the Blynk application for sending alerts in case of gas leak detection. When a leak is detected, several emergency measures are automatically triggered: cutting off the contactors, closing the solenoid valves supplying the production area, activating fans for cooling and ventilating the room, and real-time monitoring using a camera.

Moreover, access to the room is secured through an RFID system, allowing entry only to authorized personnel. The main objective of this prototype is to prevent incidents such as property damage or fires, while ensuring the safety of employees and the protection of industrial facilities.

**Keywords:** The machine room, The IOT.