REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTRY OF HIGHER EDUCATION

AND SCIENTIFIC RESEARCH

HIGHER SCHOOL IN APPLIED SCIENCES

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

المدرسة العليا في العلوم التطبيقية

-تلمسان-

# Thèse de master

## Pour l'obtention du diplôme de Master

Filière : Automatique
Spécialité : Automatique

**Présenté par : Mr. ROZTANE Adel**
**Mlle. ALI MERINA Weam**

Thème

# Utilisation des objets connectés dans la gestion efficace des poteaux incendie

Soutenue publiquement, le /09/ 2022, devant le jury composé de :

| | | | |
|---|---|---|---|
| Mr. MALIKI Fouad | MCB | ESSA de Tlemcen | Président |
| Mr. MEGNAFI Hicham | MCA | ESSA de Tlemcen | Directeur de thèse |
| Mr. BENNACER Djamel | Docteur | Naftal | Co-directeur de thèse |
| Mr. KARAOUZENE Zohier | MAA | ESSA de Tlemcen | Examinateur |

بسم الله الرحمن الرحيم

## Dédicace

*Je dédie mon travail de recherche*

*A mes très chers parents*

*A mes chers grands-parents*

*A tout le personnel de l'Ecole Supérieure en Sciences Appliquées de Tlemcen*

*A tous ceux qui m'ont aidé de près ou de loin pour à bien ce travail.*

*Mr. ROZTANE Adel*

## Dédicace

*Je dédie mon travail de recherche*

*A mes très chers parents*

*A mes chers grands-parents*

*A tout le personnel de l'Ecole Supérieure en Sciences Appliquées de Tlemcen*

*A tous ceux qui m'ont aidé de près ou de loin pour à bien ce travail.*

*Mlle. ALI MERINA Weam*

## Remerciements

*A cette occasion, on remercie le bon dieu tout puissant qui nous a donné le courage, la volonté et la patience pour réaliser ce mémoire.*

*Nos sincères remerciements vont à nos deux encadreurs Dr. MEGNAFI Hicham et Dr. BENNACER Djamel d'avoir proposé et dirigé ce travail, pour ses aides, ses conseils, ses orientations et ses intérêts.*

*Nous tenons également à remercier Mr. MALIKI Fouad pour nous avoir fait l'honneur de présider le jury.*

*Nous exprimons notre sincère gratitude aux examinateurs de notre mémoire : Mr. KARAOUZENE Zohier et Mr M'HAMMEDI Mohammed*

*On remercie aussi toutes personnes ayant contribué de prés ou de loin à la réalisation de ce travail, en particulier nos parents.*

*Enfin, On adresse nos plus sincères remerciements à tous nos proches et amis, qui nous ont toujours soutenu et encouragé au cours de la réalisation de ce mémoire.*

*Merci à tous et à toutes.*

## RESUME

La technologie de l'Internet des Objets (IoT) a attiré beaucoup d'attention ces dernières années dans tous les secteurs vitaux et industriels en particulier dans le domaine sécurité d'incendie.

L'objectif de ce travail est de réaliser une plateforme IoT pour suivre et mieux gérer la température, humidité, gaz et flamme. Cette dernière, est l'un des grands défis dans le domaine de l'IoT. Nous proposons une solution matérielle et logicielle intégrée sous forme d'une plateforme IoT. La partie matérielle est constituée principalement de cartes à microcontrôleurs (ESP32) et des capteurs, tandis que la partie logicielle consiste d'un Node-Red pour contrôler et recevoir des alertes à distance.

**Mots clés** : Internet des Objets, Microcontrôleur, Arduino, ESP32, Capteurs, IOT, MQTT, Node-Red, Platforme.

## ABSTRACT

Internet of Things (IoT) technology has attracted a lot of attention in recent years in all vital and industrial sectors, particularly in the field of fire safety.

The objective of this work is to create an IoT platform to monitor and better manage temperature, humidity, gas and flame in premises. The latter is one of the great challenges in the field of IoT. We offer an integrated hardware and software solution in the form of an IoT platform. The hardware part consists mainly of microcontroller boards (ESP32) and sensors, while the software part consists of Node-Red to control and receive remote alerts.

**Keywords**: Internet of Things, Microcontroller, Arduino, ESP32, Sensors, IOT, MQTT, Node-Red, Platform.

## ملخص

حظيت تقنية إنترنت الأشياء (IoT) باهتمام كبير في السنوات الأخيرة في جميع القطاعات الحيوية والصناعية ، وخاصة في مجال السلامة من الحرائق.

الهدف من هذا العمل هو إنشاء منصة إنترنت الأشياء لمراقبة درجة الحرارة والرطوبة والغاز واللهب في أماكن العمل وإدارتها بشكل أفضل .هذا الأخير هو أحد أكبر التحديات في مجال إنترنت الأشياء .نحن نقدم حلًا متكاملًا للأجهزة والبرامج في شكل منصة إنترنت الأشياء .يتكون جزء الأجهزة بشكل أساسي من بطاقات متحكم دقيق (ESP32) وأجهزة استشعار ، بينما يتكون جزء البرنامج من Node-Red للتحكم في التنبيهات عن بُعد وتلقيها.



الكلمات الرئيسية :إنترنت الأشياء ، متحكم دقيق ، أردوينو ، ESP32 ، حساسات ، إنترنت الأشياء ، MQTT ، عقدة حمراء ، منصة.

# TABLE DES MATIERES

**REMERCIEMENTS** ..... I

**Résumé** ..... I

**Abstract** ..... II

**Liste des figures** ..... VII

**Liste des tableaux** ..... VIII

**INTRODUCTION GENERALE** ..... 1

**CHAPITRE I : GENERALITES SUR L'INCENDIE ET L'INTERNET DES OBJETS** ..... 3

**I. Généralités sur l'incendie** ..... 4

I.1. Origines de l'incendie ..... 4
I.2. Causes de l'incendie ..... 4
I.3. Différents types d'incendies ..... 4
I.4. Propagations des incendies ..... 5
I.5. Conséquences des incendies ..... 6

**II. Définition de l'internet des objets** ..... 7

II.1. Historique ..... 8
II.2. Principe de fonctionnement ..... 9
II.3. Composants d'internet des objets ..... 9
II.4. Architecture de l'IOT ..... 10
II.5. Défis de l'IOT ..... 12
II.6. DOMAINE D'APPLICATION DES SYSTEMES D'IOT ..... 14
II.7. AGRICULTURE INTELLIGENTE ..... 19
II.8. AVANTAGES DE L'IOT ..... 21

**Conclusion** ..... 22

**CHAPITRE II : DIFFERENTES PROTOCOLES DE L'IOT** ..... 23

**Introduction** ..... 24

**III. Types de réseaux IOT** ..... 24

III.1. Réseaux à faible puissance et à courte portée ..... 24

**IV. Protocoles IoT ..... 28**

I.2. CoAP (Constrained Application Protocol) ..... 28
I.3. AMQP (Advanced Message Queuing Protocol) ..... 28
I.4. XMPP (Extensible Messaging and Presence Protocol) ..... 29
I.5. MQTT (Message Queue Telemetry Transport) ..... 29
I.6. Quel est le meilleur protocole ? ..... 30

**V. Protocol MQTT ..... 30**

I.7. MQTT (Message Queue Telemetry Transport) ..... 30
I.8. Mode de fonctionnement MQTT MQTT ..... 31
I.9. Abonnements et Publications ..... 31
I.10. Les topics ..... 32
*I.11.* Qualité de service ..... 33
I.12. Sécurité ..... 34

**Conclusion ..... 35**

**CHAPITRE III : CONCEPTION ET REALISATION DU PROTOTYPE ..... 35**

**Introduction ..... 36**

**I. Conception de la carte électronique ..... 36**

I.1. Microcontrôleur ESP32 ..... 36
I.2. Capteurs ..... 40

**II. Logiciels et outils de programmation ..... 43**

II.1. IDE Arduino ..... 44
II.2. Node-RED ..... 45

**III. Réalisation du prototype ..... 46**

III.1. Schéma Bloque ..... 46
III.2. Circuit électronique ..... 48

**Conclusion ..... 53**

**CONCLUSION GÉNÉRALE ..... 55**

**BIBLIOGRAPHIQUES ..... 52**

**ANNEXE : ..... 57**

**Annexe I : Configuration de l'IDE Arduino pour l'ESP32 ..... 58**

**Annexe II : Présentation de l'interface de Node-Red ..... 61**

**I. Interface de développement : ..... 61**

**II. Principe de la programmation : ..... 63**

II.1. Exemple su Node-Red : ..... 63
II.2. Utilisation du mosquitto comme broker ..... 66

**Annexe III : Programme D'application (IDE Arduino) ..... 68**

# LISTE DES FIGURES

**Figure I. 1 : triangle du feu de la combustion** ..... 4
**Figure I. 2 : Classes de feux.** ..... 5
**Figure I. 3 : Internet des objets.** ..... 8
**Figure I. 4 : Développement de l'Internet des objets vu par Cisco en 2011[6].** ..... 9
**Figure I. 5 : Architecture cinq couches [11].** ..... 11
**Figure I. 6 : Domaine d'application des systèmes d'IOT.** ..... 14
**Figure I. 7 : Utilisation de l'IoT pour surveiller les villes intelligentes.** ..... 15
**Figure I. 8 : Les constituants d'une Smart Grid.** ..... 16
**Figure I. 9: Système de transport intelligent basé sur l'IoT.** ..... 17
**Figure I. 10: L'IOT dans le domaine de la santé.** ..... 18
**Figure I. 11: L'IOT dans le domaine de l'industrie.** ..... 19
**Figure I. 12: L'agriculture intelligente basée sur l'IoT.** ..... 20
**Figure I. 13 : maison intelligente.** ..... 21

Figure II. 1 **Exemples de topologies MQTT.** ..... 31
Figure II. 2 Souscription au topic. ..... 33
Figure II. 3 : Niveaux de Qualité de Service MQTT. ..... 34

Figure III. 1 : Brochage global de la Carte ESP32. ..... 36
Figure III. 2 : Brochage 1 de la Carte ESP32. ..... 39
Figure III. 3 : Brochage 3 de la Carte ESP32. ..... 40
Figure III. 4 : Capteur DHT11. ..... 41
Figure III. 5 : Capteur de gaz MQ-2. ..... 42
Figure III. 6 : Capteur de flamme LM393. ..... 43
Figure III. 7 : Interface IDE Arduino. ..... 44
Figure III. 8 : Node-Red. ..... 45
Figure III. 9 : Schéma bloc d'une zone. ..... 46
Figure III. 10 : Schéma bloc global. ..... 47
Figure III. 11 : Circuit sous ISIS Proteus pour une zone. ..... 48

Figure III. 12 : Circuit global sur plaque d'essai. .....49
Figure III. 13 : Circuit pour une seule zone sur plaque d'essai. .....49

# LISTE DES TABLEAUX

**Tableau 1: Caractéristiques techniques de l'ESP32. Error! Bookmark not defined.**

**Tableau 2: Caractéristiques techniques de Capteur Température & humidité (DHT11). .....Error! Bookmark not defined.**

**Tableau 3: Caractéristiques techniques de Capteur de gaz (MQ-2).....Error! Bookmark not defined.**

**Tableau 4: Caractéristiques techniques de Capteur de flamme LM393. .....Error! Bookmark not defined.**

# LISTE DES ABREVIATIONS

| | |
|---|---|
| 3G | Third Generation |
| 4G | Fourth Generation |
| 5G | Fifth Generation |
| AC | AlternatingCurrent |
| AMQP | Advanced Message Queuing Protocol |
| BLE | Bluetooth Low-Energy. |
| CoAP | Constrained Application Protocol |
| DC | Direct Current |
| GND | Global Nearness Diagram |
| GPIO | General Purpose Input/Output |
| HTML | HyperText Markup Language |
| HTTP | HyperText Transfer Protocol |
| IOT | Internet of Things |
| IP | Internet Protocol |
| IDO | Internet Des Objets |
| LAN | Local Area Network |
| LPWAN | Low Power Wide Area Network |
| M2M | Machine a machine |
| MQTT | Message Queue Telemetry Transport |
| QoS | Quality of Service |
| RF | Radio Frequency |
| RFID | Radio-Frequency Identification |
| TCP | Transmission Control Protocol |
| UDP | User Datagram Protocol |
| UART | Universal Asynchronous Receiver Transmitter |
| USB | Universal Serial Bus |

| | |
|---|---|
| VR | Virtual reality |
| WIFI | Wireless Fidelity |
| WLAN | Wireless Local Area Network |
| XMPP | Extensible Messaging and Presence Protocol |
| 6loWPan IPv6 | 6 LoW Power Wireless Area Networks |

# INTRODUCTION GENERALE

L'une des inventions les plus importantes du monde moderne, Internet, est une réalité accessible au public depuis 25 ans. En effet, des nouvelles applications et les technologies qui reposent sur Internet évoluent chaque jour. Internet était avant tout un protocole de transmission de messages d'un point à un autre par ordinateur. Aujourd'hui, un phénomène s'appelle "l'Internet des objets" la plupart large gamme d'applications : IoT (Internet des objets) [1].

L'Internet des objets (IoT) repose sur le fait que tous les objets peuvent être connectés à Internet, et donc la possibilité de transmettre des informations et éventuellement de recevoir la commande est bien comprise [1], on peut dire que l'IoT est une révolution technologique de l'information et de la communication. Il décrit un monde composé, les appareils intelligents sont organisés en un réseau qui peut se connecter les uns aux autres ou avec le milieu extérieur. Cette évolution technologique produit de nouvelles formes de communication entre des objets du monde réel et partager des informations précises.

Afin de définir le concept d'Internet des objets (IoT), Tout d'abord, nous révélons les différentes définitions qui existent dans l'IoT, un peu d'histoire, puis concentrer sur sa fonction, sa construction. Dans notre travail, nous essaierons de connecter l'IoT à la 5G, citons quelques exigences et ses domaines d'application. Enfin, nous terminerons à travers ses défis [2].

Ce travail comporte trois chapitres :

Dans le premier chapitre, nous avons présenté d'une façon générale se l'incendie, ces causes, ces différents types, et nous avons décrit principalement la définition et l'architecture de l'internet des objets ainsi que ces domaines d'application.

Dans le deuxième chapitre, nous avons étudié les types de réseaux pour l'IOT, et les différentes familles de protocol, Nous avons vu aussi le protocole MQTT.

Au cours du dernier chapitre, nous avons présenté d'une façon générale, nous avons présenté notre simulation par la présentation de ses principales interfaces graphiques.

Nous avons également réalisé les étapes de la conception de la carte électronique et de la réalisation de notre prototype.

Enfin, notre travail est clôturé par une conclusion générale qui montre les résultats finaux de notre projet.

# CHAPITRE I : GENERALITES SUR L'INCENDIE ET L'INTERNET DES OBJETS

# I. GENERALITES SUR L'INCENDIE

## I.1. Origines de l'incendie

Un incendie est un grand feu non maitrisé qui se  propage rapidement et de façon non contrôlée, à cause des dégâts très importants. Le processus de combustion est une réaction chimique d'oxydation d'un combustible par un comburant [1]. Cette réaction nécessite une source d'énergie. L'absence d'un des trois éléments empêche le déclenchement de la combustion et la suppression d'un des trois éléments arrête le processus. Cette interdépendance est symbolisée par le triangle du feu suivant (Figure I.1).

**Figure I. 1 : triangle du feu de la combustion**

## I.2. Causes de l'incendie

Le comburant est le plus souvent l'oxygène de l'air (certains produits chimiques sont aussi des comburants: symbole de danger O), il est donc difficile de jouer sur cet élément pour casser le triangle du feu. De plus l'ensemble des établissements industriels utilise des matières combustibles (emballages cartons, papiers, produits chimiques inflammables) [2].

## I.3. Différents types d'incendies

Les feux sont divisés en cinq catégories selon la substance qui brûle (comme le montre la Figure I.2) :

**Feux de classe A:** matières solides (bois, papier, tissu, plastique).

**Feux de classe B:** combustibles liquides (essence, huile, solvant, peinture, vernis, alcool).

**Feux de classe C:** appareils électriques sous tension (télévision, cuisinière, panneau électrique, radio).

**Feux de classe D:** métaux (aluminium, magnésium, sodium, potassium).

**Feux de classe K:** huiles ou graisses utilisées dans les appareils de cuisson commerciaux.

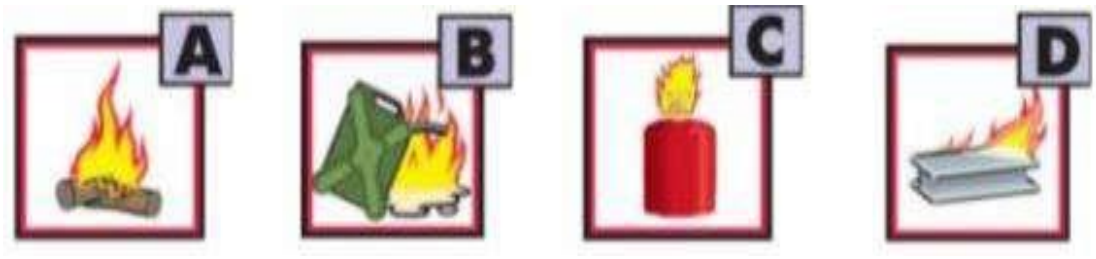



**Figure I. 2 : Classes de feux.**

## I.4. Propagations des incendies

### *I.1.1. Facteurs de propagation*

Les principaux paramètres de la phase de développement du feu sont liés:

- à la quantité de combustibles présente qui détermine la quantité d'énergie disponible.
- au pouvoir calorifique du combustible.
- à la forme des matériaux.
- Aux produits de décomposition : certains matériaux engendrent des gaz combustibles propageant l'incendie à grandes distances comme les plastiques…, etc.
- Au degré hygrométrique : la sécheresse augmente les possibilités d'inflammation.
- à la ventilation et à la circulation des gaz qui sont des fonctions de l'importance, de la forme et de la répartition des ouvertures (portes, fenêtres, exutoires de fumées…).
- à la nature du local en feu : les dimensions du local et la nature des parois vont conditionner son isolement thermique.

### *I.1.2. Modes de propagation*

L'extension du feu s'effectue par transport d'énergie dû :

- Au rayonnement : apport de chaleur aux matériaux voisins du foyer.
- à la convection : transfert de chaleur par mouvement ascendant d'air réchauffé.
- à la conduction : transfert de chaleur au sein d'un même matériau.
- Au déplacement de substances déjà en combustion (exemple : transmission du feu dans les systèmes de ventilation) [3].

## I.5. Conséquences des incendies

### *I.1.3.* Conséquences sur l'Homme

Les effets de l'incendie sont surtout dus à deux phénomènes : les gaz - fumées et la chaleur [4].

- Les gaz et fumées présentent les dangers suivants :

- dégagement de température avec risque de brûlure interne par inhalation des chauds.
- opacité gênant l'évacuation.
- asphyxie (la concentration d'oxygène diminue lors d'un incendie).
- toxicité.

- Les flammes et la chaleur : La température au cœur du foyer peut varier de 600 à 1 200°C. Au contact des flammes, les brûlures sont immédiates. Des lésions peuvent apparaître lors de l'exposition de la peau pendant plusieurs secondes à une température de l'ordre de 60°C. On distingue trois catégories de brûlures :

- le premier degré : atteinte superficielle (typiquement : «le coup de soleil».
- le second degré : destruction de l'épiderme avec apparition de cloques.
- le troisième degré : destruction du derme et de l'épiderme, à ce stade, la peau n'est plus capable de se régénérer seule. L'effet lumineux des flammes constitue également un danger pour les yeux.

### *I.1.4.* Conséquences sur les bâtiments et les biens

La destruction des bâtiments et des biens représente un tribut important payé à l'incendie. La protection contre l'incendie nécessite de connaître la charge calorifique et le comportement au feu des matériaux et des éléments de construction [5].

## II. DEFINITION DE L'INTERNET DES OBJETS

Le terme Internet des objets « Internet of Things » (IdO, IoT) a été utilisé pour la première fois en 1999 parle pionnier de la technologie britannique Kevin Ashton pour décrire un système dans lequel des objets dans le monde physique pourraient être connectés à l'Internet par des capteurs [3].

Le Terme d'Internet des Objets (IOT) ne fait pas encore consensus sur sa définition, ce qui s'explique par la jeunesse de ce concept en pleine mutation. Il existe ainsi autant de définitions que d'entités impliquées dans la réflexion, le développement ou la normalisation de ce nouveau paradigme [4].L'IOT est un réseau créé à partir d'appareils intelligents qui sont connectés et qui communiquent entre eux via un réseau comme Internet. Les appareils connectés recueillent et échangent de l'information entre eux grâce à des logiciels, caméras et capteurs capables de détecter la lumière, les sons, la distance, les mouvements, etc.

Ils peuvent être contrôlés et surveillés à distance, mais la plupart fonctionnent automatiquement. Parmi les appareils intelligents, on trouve des électroménagers, des serrures, des caméras de sécurité, des équipements de production et des véhicules connectés [5].Cette vision de l'Internet des objets introduira une nouvelle dimension aux technologies de l'information et de la communication : en plus des deux dimensions temporelles et spatiales qui permettent aux personnes de se connecter de n'importe où à n'importe quel moment, nous aurons une nouvelle dimension « objet » qui leur permettra de se connecter à n'importe quel objet [6] (Figure I.3).

**Figure I. 3 : Internet des objets.**

## II.1. Historique

Le concept de l'internet des objets apparaît pour la première fois en 1995dans le livre du fondateur de Microsoft, Bill Gates, « The Road Ahead». Il y mentionne alors ce nouveau concept, sans toutefois attirer l'attention du public puisque le développement d'Internet est alors trop limité [7].Comme pour de nombreux nouveaux concepts, c'est au (MIT) et plus particulièrement au groupe Auto-ID Center qu'est attribuée l'origine de l'IoT. Pour Cisco Internet Business Solutions Group (IBSG), l'IoT correspond simplement au moment où il y a eu plus « de choses ou d'objets » connectés à Internet que de personnes [2].

En 2003, la population mondiale s'élevait à environ 6,3 milliards d'individus et 500millions d'appareils étaient connectés à Internet. Le résultat de la division du nombre d'appareils par la population mondiale (0,08) montre qu'il y avait moins d'un appareil connecté par personne [6]. Selon la définition de Cisco IBSG, l'IoT n'existait pas encore en 2003 car le nombre d'objets connectés était relativement faible. En outre, les appareils les plus répandus actuellement, et notamment les Smartphones, faisaient tout juste leur apparition sur le marché [6].

La croissance explosive des smart phones et des tablettes PC a amené le nombre d'appareils connectés à Internet à 12,5 milliards en 2010, tandis que la population humaine mondiale est passée à 6,8 milliards, ce qui rend le nombre d'appareils connectés par personne supérieur à 1 (1,84 pour être exact) pour la première fois de l'histoire (voir la Figure I.4) [6].

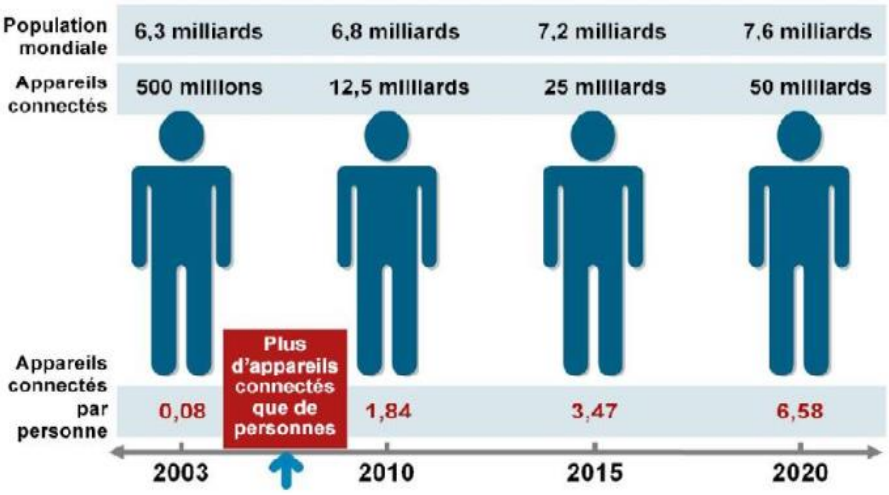



**Figure I. 4 : Développement de l'Internet des objets vu par Cisco en 2011[6].**

En ce qui concerne l'avenir, Cisco IBSG estime que 50 milliards d'appareils seront connectés à Internet d'ici à 2020. Il est important de noter que ces estimations ne tiennent pas compte des progrès rapides d'Internet ni des avancées technologiques, mais reposent uniquement sur les faits avérés à l'heure actuelle [6].

## II.2. Principe de fonctionnement

L'internet des objets est composé de plusieurs éléments complémentaires ayant chacun ses propres spécificités. Il permet à l'aide des systèmes d'identifications électroniques normalisés et des dispositifs mobiles sans fil, d'identifier directement et sans ambiguïté des objets physiques, ainsi que pouvoir récupérer, stocker, transférer et traiter sans discontinuité les données s'y rattachant [8].

L'Iot est une combinaison d'innovations technologiques récentes et de solutions déjà existantes. Chaque objet est muni d'une identification électronique unique capable de lire et transmettre à travers un protocole dans le réseau internet. Il est nécessaire cependant de définir la nature de l'objet, ses fonctionnalités, sa position dans l'espace, l'historique de ses déplacements, etc. Pour effectuer ce lien entre physique et virtuel, le dispositif technique doit donc modéliser des contextes réels et les rendre virtuel [9].

## II.3. Composants d'internet des objets

Le concept de l'Internet des objets fait référence à des objets identifiables de façon unique avec leurs représentations virtuelles dans une structure de type

Internet et des solutions de l'Internet des objets comprenant un certain nombre de composants tels que [10] :

- Module pour l'interaction avec les dispositifs locaux de l'Internet des objets et avec les appareils IoT à distance, directement sur Internet. Ce module est responsable de l'acquisition des observations et de leur transmission vers des serveurs distants pour l'analyse et le stockage permanent [10].

- Module pour l'analyse et le traitement locaux des observations acquises par les dispositifs IoT [10].

- Module pour l'analyse et le traitement des données spécifiques aux applications : Ce module fonctionne sur un serveur d'applications desservant tous les clients. Il prend les demandes des clients mobiles et Web et les observations pertinentes de l'IoT en entrée, exécute les algorithmes de traitement des données appropriés et génère des extrants en termes de connaissances qui sont ensuite présentés aux utilisateurs [10].

- Interface utilisateur (web ou mobile) : représentation visuelle des mesures dans un contexte donné (par exemple sur une carte) et interaction avec l'utilisateur, i.e. définition des requêtes de l'utilisateur [10].

## II.4. Architecture de l'IOT

L'architecture de l'IOT est l'un des sujets les plus mentionnés dans les articles de recherche de ce domaine. L'architecture est composé de cinq couches est généralement acceptée comme étant l'architecture qui décrit le mieux l' l'IOT. La Figure I.5 montre la superposition des cinq couches de cette architecture. Ci-dessous une description de chacune d'entre elles [11].

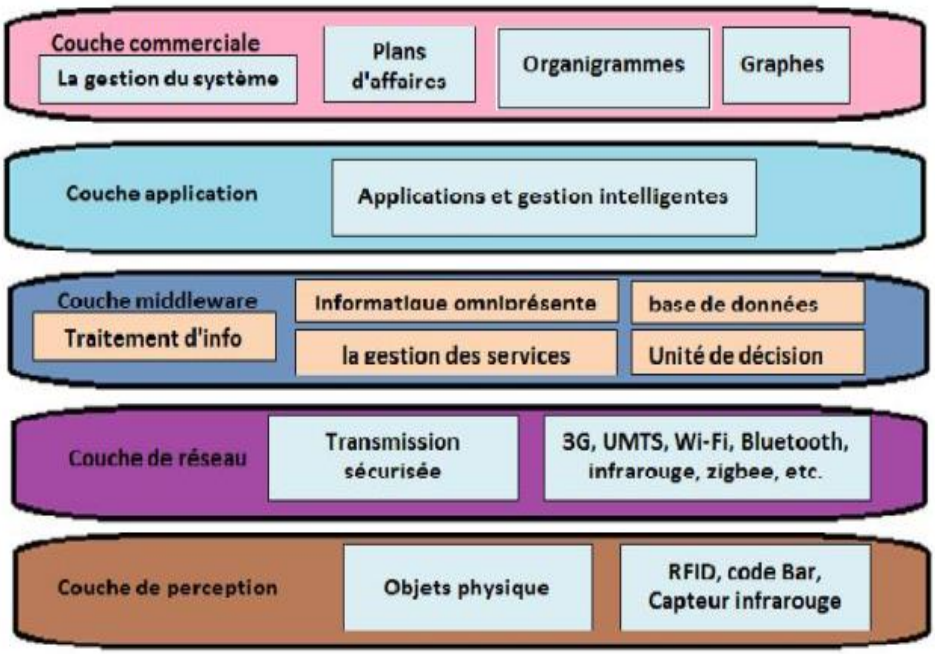



**Figure I. 5 : Architecture cinq couches [11].**

### *I.1.5. Couche perception*

C'est la première couche, on l'appelle aussi couche objets. Elle représente les objets physiques de l'IOT qui ont pour but la collecte et le traitement basique de l'information, et qui fournissent différentes fonctionnalités comme donner la position physique, la température, le poids, le mouvementent, etc. Cette couche collecte et numérise les données d'un certain environnement et les envoie à la couche supérieure via des canaux sécurisés [11].

### *I.1.6. Couche réseau*

Cette couche s'occupe du transport de la donnée vers le centre de traitement de l'information. Le moyen de transmission peut être filaire ou non et les principales technologies utilisées dans cette couche sont la 3G, Wifi, ZigBee, etc. C'est au niveau de cette couche que se trouvent les protocoles de communication, tels que 6LowPan, qui sont nécessaires pour l'adressage de millions d'objets connectés [12].

### *I.1.7. Couche traitement*

Chaque objet de l'IOT offre des services que cette couche (appelée aussi couche Middleware) est responsable de gérer et de lier avec des bases de données les informations collectées, pour ensuite y appliquer des traitements et des calculs, afin de prendre des décisions automatiques. Elle permet aussi au développeur d'application de l'IOT de faire appel à des services sans prendre en considération l'interopérabilité des objets, ou bien une plateforme matérielle spécifique [12].

### *I.1.8. Couche application*

Cette couche offre la possibilité d'utiliser les informations traitées par la couche traitement et les services des objets présentés par cette dernière, pour développer diverses applications de l'IOT. Ces applications seront ensuite directement utilisées par des utilisateurs finaux [11].

### *I.1.9. Couche Business*

Le but de cette couche est la gestion des différentes applications de l'IOT. Les responsabilités de cette couche sont de construire un modèle de gestion, des graphes, des organigrammes, etc. en se basant sur les données reçues de la couche application, et sur le résultat de cette analyse. Cette couche permet de décider le chemin futur et la stratégie de business. La gestion et la surveillance des quatre autres couches se font aussi à son niveau [12].

## II.5. Défis de l'IOT

Il y a des défis à l'application de l'Internet des objets de point de vue coût de la mise en œuvre du fait que l'attente de la technologie doit être disponible à faible coût avec un grand nombre d'objets. De plus, l'IOT est également face à de nombreux autres défis qui se résument dans cinq sous sections suivantes [13].

### *I.1.10. Découverte Automatique*

Dans les environnements dynamiques les services appropriés pour les objets doivent être identifié automatiquement. Ceci nécessite des moyens sémantiques appropriés pour décrire leur fonctionnalité afin de les exploiter d'une manière efficace.

### *I.1.11. Interopérabilité*

Chaque type d'objets intelligents dans l'Internet des objets possède différentes capacités de stockage d'information, de traitement et de communication. Différents objets intelligents seraient également soumis à des conditions différentes telles que la disponibilité de l'énergie et les besoins en bande passante de communications. A cet effet, pour faciliter la communication et coopération de ces objets, des normes communes sont requises [14].

### *I.1.12. La Sécurité et La Confidentialité*

Les aspects de sécurité et de protection d'Internet tel que la confidentialité des communications, l'intégrité des messages ainsi que l'authenticité et la fiabilité de partenaires de communication doivent être assurés dans un environnement IoT. A titre d'exemple dans certain cas il y a un besoin d'accéder à certains services pour accomplir une tâche ou d'empêcher de communiquer avec d'autres objets du système IoT pour des raisons préventives de sécurité. De plus, d'autres exigences selon la particularité du domaine d'application, t être aussi considérées par exemple dans les transactions commerciales des objets intelligents doivent être protégés des yeux des concurrents.

### *I.1.13. Tolérance Aux Pannes*

Les objets dans IOT sont beaucoup plus dynamiques et mobiles que les ordinateurs Internet, et dans un changement rapide et de manière inattendue. Pour structurer Internet des objets d'une manière robuste et digne de confiance on utilise la redondance en plusieurs niveaux pour l'adaptation automatique au changement de conditions.

### *I.1.14. Auto-Organisation*

Les objets intelligents ne devraient pas être gérés comme des ordinateurs qui nécessitent leurs utilisateurs pour les configurer et les adapter à des situations particulières. Les objets mobiles, qui sont souvent utilisées de façon sporadique, doivent établir spontanément des liens et pouvoir être organisé et configurer par eux-mêmes en fonction de leur environnement d'exécution.

## II.6. DOMAINE D'APPLICATION DES SYSTEMES D'IOT

L'IoT couvrira un large éventail d'applications (comme illustré dans la Figure 1.6) et touchera quasiment à tous les domaines que nous affrontons au quotidien. Ceci permettra l'émergence d'espaces intelligents autour d'une informatique omniprésente. Parmi ces espaces intelligents, on peut citer [6] :

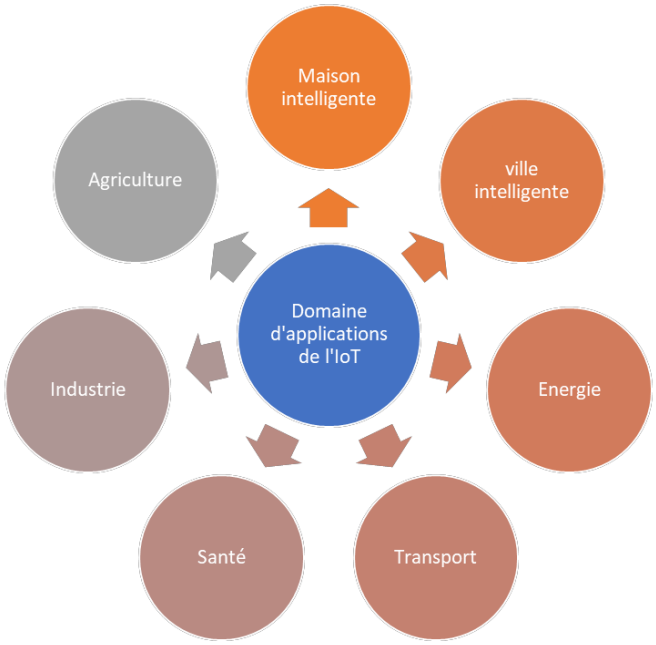



**Figure I. 6 : Domaine d'application des systèmes d'IOT.**

### *I.1.15. Villes Intelligentes*

L'IoT permettra une meilleure gestion des réseaux divers qui alimentent nos villes (eaux, électricité, gaz, etc.) en permettant un contrôle continu en temps réel et précis. Des capteurs peuvent être utilisés pour améliorer la gestion des parkings et du trafic urbain et diminuer les embouteillages et les émissions en CO2 [6].

**Figure I. 7 : Utilisation de l'IoT pour surveiller les villes intelligentes.**

### *I.1.16. Energie intelligente*

L'Energie intelligente peut apporter une amélioration à la qualité de vie des habitants et faire des économies figure 1.8.

**Smart Grid:** Surveillance et gestion de la consommation d'énergie, Eoliennes / Centrale électrique : Surveillance et analyse du flux d'énergie des éoliennes et des centrales électriques, et communication bidirectionnelle avec des compteurs intelligents des consommateurs pour analyser les habitudes de consommation.

**Contrôleurs d'alimentation :** Contrôleur pour Alimentations AC-DC qui déterminent l'énergie requise et améliorent l'efficacité énergétique avec moins de gaspillage d'énergie pour les alimentations liées aux ordinateurs, aux télécommunications et aux applications électroniques grand public.

**Installations photovoltaïques:** Surveillance et optimisation des performances des centrales solaires [14]

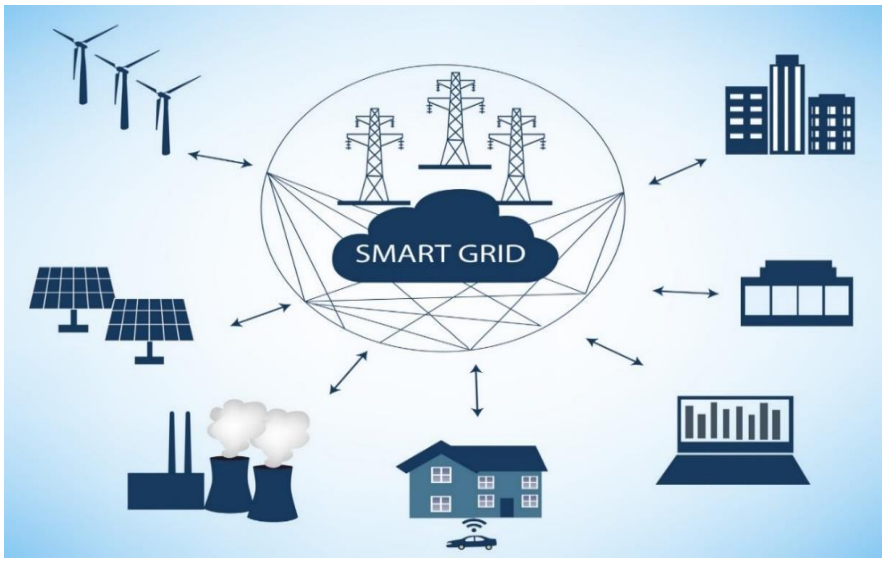



**Figure I. 8 : Les constituants d'une Smart Grid.**

### *I.1.17. Transport intelligente*

Le développement du transport est l'un des facteurs qui indiquent le bien-être de pays. Une application de surveillance de l'état des routes et d'alerte est l'une des applications les plus importantes de l'IoT.

Le processus a besoin de l'identification de l'utilisateur et sa trajectoire souhaitée dans son application sur son téléphonique intelligent. Le transport intelligent est confronté à deux problématiques principales qui sont, l'analyse des transports, le contrôle des véhicules connectées. L'analyse de transport représente l'analyse de la prédiction de la demande et de détection des anomalies. Le routage des véhicules et le contrôle de la vitesse en plus de la gestion du trafic sont tous connu comme le contrôle du transport qui sont étroitement lié aux véhicules connectés [14] (figure 1.9).

**Figure I. 9: Système de transport intelligent basé sur l'IoT.**

### *I.1.18. Santé intelligente*

L'internet des objets a rapidement transformé la prestation de soins. Les équipements et les capteurs sont de plus en plus « intelligents » et génèrent toujours plus de données nécessaires aux équipements médicaux, aux professionnels et profitant ainsi aux patients en réduisant les coûts et en améliorant leur satisfaction. Les données ainsi collectées facilitent, adaptent, améliorent, anticipent ou réorganisent les soins des patients (figure I.10).

**Surveillance des patients :** Surveillance des conditions des patients dans les hôpitaux et chez les personnes âgées.

**Réfrigérateurs médicaux** : Contrôle des conditions à l'intérieur des congélateurs stockant des vaccins, médicaments et éléments organiques. Détection Automne : Assistance pour personnes âgées ou handicapées vivant indépendants.

**Dentaire :** Bluetooth connecté avec une brosse à dents, avec une application Smartphone permettant l'analyse de brossage et donne des informations sur les habitudes de brossage sur le Smartphone. Ces informations peuvent être utiles pour les utilisateurs (vie privée) ou pour montrer des statistiques au dentiste.

**Surveillance de l'activité physique :** Capteurs sans fil placés sur le matelas détectant de petits mouvements comme la respiration et la fréquence cardiaque. En lançant et en tournant pendant le sommeil, fournissant des données disponibles via une application sur le Smartphone [14].

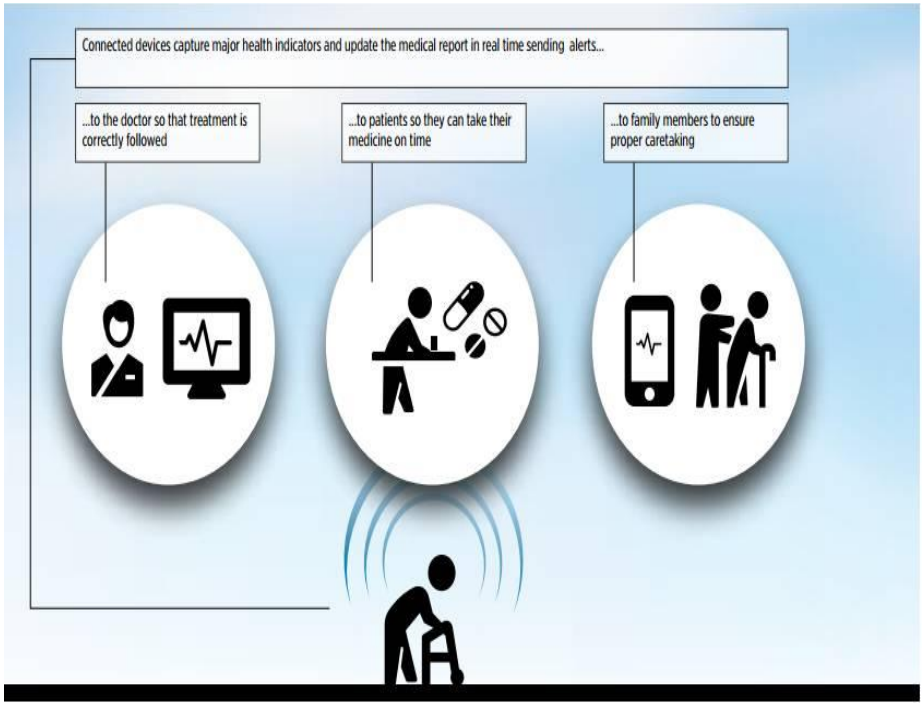



**Figure I. 10: L'IOT dans le domaine de la santé.**

### *I.1.19. Industrie intelligente*

L'industrie intelligente va changer fondamentalement, comment les produits sont inventés, fabriqués et expédiés. En même temps, cela améliorera la sécurité des travailleurs et protège l'environnement un faible incident de fabrication. Ces progrès dans la façon dont les machines et autres objets communiquent, et la manière dont la prise de décision passe des humains aux systèmes techniques signifient que la fabrication devient "plus intelligente" (figure I.11).

**Gaz explosifs et dangereux :** Détection des niveaux de gaz et des fuites dans les environnements industriels, environnants des usines chimiques et des mines.

**Surveillance des niveaux de gaz toxique et d'oxygène dans les usines chimiques***:* pour assurer la sécurité des travailleurs et des biens.

**Surveillance des niveaux d'eau, de pétrole et de gaz :**

- Réservoirs et Citerne.
- Entretien et réparation.

**Prédictions précoces :** sur les défaillances d'équipement et la maintenance du service peuvent être automatiquement programmées avant une défaillance réelle

de la pièce en installant des capteurs à l'intérieur de l'équipement pour surveiller et envoyer des rapports [17].

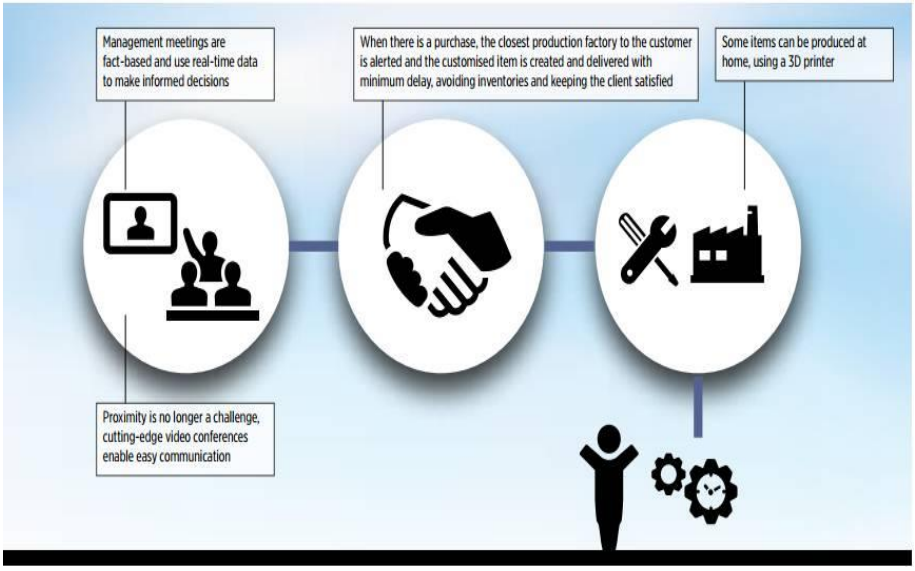



**Figure I. 11: L'IOT dans le domaine de l'industrie.**

## II.7. AGRICULTURE INTELLIGENTE

Dans ce domaine, des réseaux de capteurs interconnectés à l'IOT peuvent être utilisés pour la supervision de l'environnement des cultures. Ceci permettra une meilleure aide à la décision en agriculture, notamment pour optimiser l'eau d'irrigation, l'usage des intrants, et la planification de travaux agricoles (figure I.12). Ces réseaux peuvent être aussi utilisés pour lutter contre la pollution de l'air, du sol et des eaux et améliorer la qualité de l'environnement en général [6].

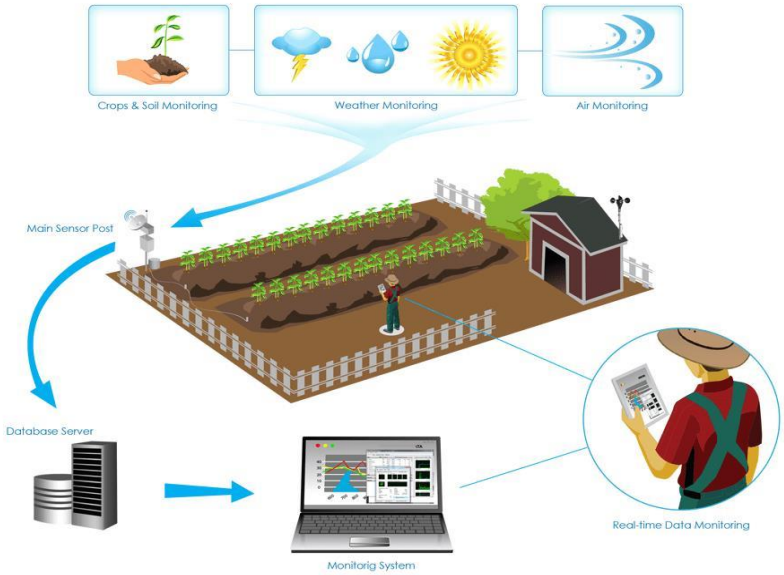



**Figure I. 12: L'agriculture intelligente basée sur l'IoT.**

### *I.1.20. Maisons et Bâtiments intelligents*

Aujourd'hui, les maisons et les bureaux utilisent les technologies IoT. Divers gadgets électroniques et systèmes de CVC tels que les lumières, les fours à micro-ondes ventilateurs, les réfrigérateurs, les appareils de chauffage et les climatiseurs sont intégrés avec des capteurs et des actionneurs pour utiliser suffisamment l'énergie, surveiller et contrôler la quantité de chauffage, de refroidissement et le niveau de lumière, la lumière de la pièce détecte la présence d'êtres humains et s'allume lorsque vous entrez, lorsque le feu ou la fumée est détecté à la maison, que les détecteurs de fumée et de monoxyde de carbone sans fil émettent des alarmes sonores et qu'ils alertent également par téléphone ou par courriel et ajoutent plus de confort dans la vie, qui à son tour minimiser le coût et augmente les économies d'énergie [15] (Figure I.13).

**Figure I. 13 : maison intelligente.**

## II.8. AVANTAGES DE L'IOT

L'Internet des objets promet ainsi une forte plus-value à chaque organisme. En connectant objets, personnes et environnements, il devient possible de développer des améliorations qui ne pourront être que bénéfiques. Les principaux bénéfices que peut avoir une entreprise dotée d'un système IoT sont:

**Amélioration de la productivité :** l'IoT permet la surveillance, le monitoring et le contrôle des différents process, ce qui optimise les différentes opérations qui augmentent la productivité et l'efficacité.

**Analyses prédictives :** grâce à la collecte de nombreuses données, les nouvelles technologies de l'IoT permettent d'examiner les patrons récurrents et contribuent à l'analyse prédictive qui peut être principalement utilisée en maintenance. Ces informations précises vont servir à améliorer les process et les services existants.

**Rapidité d'action :** les données permettent de suivre en temps réel et même à distance les systèmes mis en place. Elles facilitent l'optimisation des interventions de maintenance, mais aussi donnent un avantage stratégique à l'entreprise dans le suivi de l'évolution des marchés.

**Diminution des erreurs humaines :** grâce à la complémentarité des technologies comme l'intelligence artificielle, l'IoT permet de minorer les erreurs humaines dues à des tâches mondaines ou répétitives.
L'IoT constitue ainsi un atout dans l'aide à la prise de décision et au rendement de l'entreprise. Il représente un avantage stratégique face au marché concurrentiel. C'est une tendance qui ne cessera de croître, puisqu'on estime qu'il y aura plus de 20 milliards d'objets connectés dans le monde d'ici 2020, Face à leur futur

prometteur, il serait temps d'en profiter et commencer à transformer son business [18].

## CONCLUSION

Dans ce chapitre, nous avons présenté une étude détaillée sur l'internet des objets, sa définition, son architecture, les défis, leurs domaines d'application, et les différentes familles de protocole et que chacun répond à un besoin spécifique dans l'IOT, et aussi les avantages de l'IoT. L'Internet des objets incarne la prochaine évolution d'Internet, connaître le progrès humain et en transformant les données en informations, en connaissances et en apprentissage.

# CHAPITRE II : DIFFERENTES PROTOCOLES DE L'IOT

# INTRODUCTION

L'IoT et ses protocoles sont l'un des sujets les mieux financés Industrie et études universitaires. Le développement rapide de l'Internet mobile, Fabrication de mini, micro-informatique et Machine-to-Machine (M2M) Amener la technologie IoT au sommet de la conversation médiatique signifie L'industrie et la recherche actuellement et dans les prochaines années. La technologie IoT permet des choses ou des appareils qui n'existent pas des ordinateurs pour agir intelligemment et prendre des décisions collaboratives Bénéfique pour certaines applications [19]. Dans ce chapitre, nous avons couvert les protocoles IoT qui fonctionnent à différentes couches Pile réseau fournie par les organismes de normalisation. Ces normes ont proposé au cours des cinq dernières années pour répondre aux besoins actuels et Besoins IoT du futur [16].

# III. TYPES DE RESEAUX IOT

## III.1. Réseaux à faible puissance et à courte portée

Ces réseaux conviennent aux maisons, bureaux et autres environnements de petite taille. Ils se prêtent à des batteries de petite taille (et dans certains cas, à des configurations sans batterie) et leur utilisation est souvent peu coûteuse. Voici quelques exemples courants:

### *I.1.1. Bluetooth*

Bluetooth qui équipe également la plupart des terminaux intelligents. Un grand nombre d'objets communicants et l'adopteront aussi. Elle est définie par le groupement d'intérêt Bluetooth, pour les réseaux sans fil personnel. Dans ses versions de base, Bluetooth se caractérise par une communication à faible portée et un débit beaucoup plus faible que le WiFi, de l'ordre de quelques centaines de kilo bits par seconde. Néanmoins dans sa dernière version 4.2, qui met l'accent sur les objets communicants, on promet des débits 2 fois et demi plus rapides que les versions précédentes, tout en ayant une faible consommation d'énergie. Des objets tels que les montres connectées, équipées de cette dernière version, seront capables de dialoguer directement avec un routeur, afin d'accéder à Internet en utilisant le protocole 6LowPan d'IPv6, sans passer par un Smartphone [21].

- Norme : la spécification fondamentale de Bluetooth 4.2

- Fréquence : 2,4 GHz (ISM)
- Portée : 50-150 m (Smart/BLE)
- Vitesses de transmission : 1 Mbit/s (Smart/BLE).

### *I.1.2. Wi-Fi*

(Correspondant à la famille des standards IEEE 802.11) qui équipe aujourd'huitous les nouveaux Smartphones, et est utilisée principalement par les réseaux locaux sans fil. Le Wifi permet l'accès à Internet avec des vitesses de transfert atteignant facilement des dizaines de méga bits par seconde. Il est caractérisé par une consommation relativement importante, et donc une autonomie faible pour les équipements qui l'embarquent [22].

- Norme : basée sur 802.11n •Fréquences : bandes de 2,4 GHz et 5 GHz
- Portée : environ 50 m
- Vitesses de transmission : 600 Mbit/s maximum, mais les vitesses habituelles sont plus proches de 150 Mbit/s, en fonction de la fréquence de canal utilisée et du nombre d'antennes (la dernière norme 802.11-ac devrait permettre des vitesses pouvant atteindre 500 Mbit/s à 1 Gbit/s) [18].

### *I.1.3. ZigBee*

ZigBee dispose d'une importante base d'exploitation installée, surtout en milieu industriel. Parmi les profils ZigBee disponibles, ZigBee PRO et ZigBee Remote Control(RF4CE) reposent sur le protocole IEEE802.15.4 ;fonctionnant à 2,4 GHz, cette technologie de réseau sans fil standard de l'industrie cible les applications nécessitant des échanges de données relativement peu fréquents à de faibles vitesses de transmission sur un espace restreint et dans une portée de 100 m (résidence ou bâtiment, par exemple).

Associant fonctionnement à faible consommation, haute sécurité, robustesse et grande évolutivité avec un nombre important de nœuds, ZigBee/RF4CE présente d'importants avantages dans les systèmes complexes. Ce protocole est par ailleurs en position idéale pour tirer le meilleur parti du contrôle et des réseaux de capteurs sans fil dans les applications M2M et IoT. La dernière version de ZigBee est la version 3.0, qui consiste essentiellement à unifier les différentes normes sans fil ZigBee en une norme unique [23] [24].

- Norme : ZigBee 3.0 basé sur IEEE802.15.4

- Fréquence : 2,4 GHz
- Portée : 10-100 m
- Vitesses de transmission : 250 Kbit/s

### *I.1.4. Wave*

Z-Wave est un protocole de communication sans fil de faible puissance pour les réseaux domotiques (HAN). Il est largement utilisé dans les applications de contrôle à distance pour les maisons intelligentes, ainsi que des domaines commerciaux de petite taille. En Europe, elle fonctionne à 868,42 MHz, alors qu'au Canada et aux États-Unis, elleutilise 908,42 MHz pour la communication. La distance entre deux nœuds ne doit pas dépasser 30 m [25].

### *I.1.5. Liaisons sans fil à faible consommation énergétique (LPWAN)*

Permet la communication sur un minimum de 500 mètres, requiert une puissance minimale et est utilisé pour la majorité des appareils IoT. Par exemple, les réseaux étendus à longue portée (LoRaWAN) relient des appareils mobiles, sécurisés et bidirectionnels fonctionnant sur batterie. Voici quelques exemples courants :

### *I.1.6. IoT 5G*

La 5G est la prochaine génération Mobile Network Alliance (NGMN) qui vise des spécifications 40 fois plus rapides que la 4G tout en prenant en charge jusqu'à un million de connexions par kilomètre carré. La 5G permet déjà des applications de haut débit et haut débit pour le streaming Ultra-HD (4k), la connectivité automobile sans conducteur ou les applications VR/AR] [26].

### *I.1.7. Sigfox*

Autre technologie à distance, Sigfox convient aux Technologies Wi-Fi et cellulaires en termes de portée. Elle En utilisant la bande ISM, vous pouvez utiliser le transfert de données gratuit et sans licence sur un spectre très étroit, en Depuis et vers les objets connectés. Sigfox est basé sur l'idée suivante : Pour de nombreuses applications M2M fonctionnent sur de petites batteries et ne nécessitent que le

transfert des données qui est très limité, la portée Wi-Fi est trop courte et la technologie cellulaire est trop chère et gourmande en énergie [27].

Sigfox est uniquement conçu pour gérer les vitesses de transfert de données assez faibles, de 10 à 1000 bits par seconde. La consommation est limitée à 50 microwatts contre 5 000 microwatts Communications cellulaires ; le protocole fournit également une autonomie en veille typique de 20 ans utilise une batterie de 2,5 Ah alors que la communication cellulaire ne prend que 0,2 an. Déjà activé pour des dizaines de milliers d'objets connectés, le réseau est Déployé dans les principales villes européennes, dont dix villes au Royaume-Uni. Unissent leurs forces Robustesse, efficacité et évolutivité, le réseau peut connecter des millions de circuits Utilisez la batterie dans une zone de plusieurs kilomètres carrés. Cette distance est Pour différentes applications M2M, qui doivent inclure les objets suivants : Compteurs intelligents, moniteurs patient, équipements de sécurité, éclairage public et capteurs environnementaux. Les systèmes Sigfox utilisent du silicium, notamment avec Les émetteurs-récepteurs sans fil EZRadioPro de Silicon Labs offrent des performances sans fil supérieures, une portée étendue et une consommation d'énergie ultra-faible pour les applications de réseau sans fil Fils qui fonctionnent dans la bande Sub-GHZ[28].

- Norme : Sigfox
- Fréquence : 900 MHz
- Portée : 30-50 km (environnements ruraux), 3-10 km (environnements urbains)
- Vitesses de transmission : 10-1 000 bit/s.

### *I.1.8. LoRaWAN*

Également similaire à certains égards à Sigfox et à Neul, LoRaWAN cible les applications de réseau étendu (WAN)et est conçu pour fournir des réseaux étendus à faible consommation dont les fonctionnalités sont indispensables à la communication bidirectionnelle sécurisée mobile à faible coût dans les applications urbaines et industrielles intelligentes, ainsi que IoT et M2M [30].

Optimisées pour une faible consommation et prenant en charge de grands réseaux comprenant plusieurs millions de circuits, les vitesses de transmission vont de 0,3 Kbit/s à 50 Kbit/s [29].

- Norme : LoRaWAN
- Fréquence : variable

- Portée : 2-5 km (environnement urbain), 15 km (environnement suburbain)
- Vitesses de transmission : 0,3-50 Kbit/s.

# IV. PROTOCOLES IOT

## I.2. CoAP (Constrained Application Protocol)

C'est un protocole de la couche application pour les applications IOT. Il définit un protocole de transfert Web Basé sur les fonctionnalités HTTP, est lié à UDP (et non TCP) par défaut qui le Rend plus approprié pour les applications IOT. En outre, CoAP modifie certaines fonctionnalités HTTP pour répondre aux exigences de l'IOT telles que la faible consommation d'énergie et le fonctionnement en présence de liens à perte et bruyants.

CoAP a été conçu sur la base de REST qui représente un moyen plus simple d'échanger des données entre les clients et les serveurs via HTTP. REST Peut être considéré comme un protocole de connexion qui repose sur une architecture sans serveur apatride, un protocole est dit « apatride » quand aucune information de session n'est conservée par le récepteur qui est généralement un serveur. REST est utilisé dans les applications des réseaux sociaux et mobiles et élimine l'ambiguïté en utilisant les méthodes HTTP get, post, put et delete. Il permet aux clients et aux serveurs d'exposer et de consommer des services Web commele protocole d'accès aux objets simples (SOAP), mais de manière plus simple en utilisant les identificateurs de ressources uniformes (URI).

CoAP vise à permettre à de minuscules appareils à faible puissance, le calcul et les capacités de communication à utiliser les interactions RESTful. Avec CoAP, les interactions entre services web de l'Internet des PC et de l'Internet des Objets deviennent bien plus simples à réaliser, une passerelle applicative assez légère (correspondance entre les commandes REST et CoAP) se charge de l'adaptation d'un monde à l'autre [31].

## I.3. AMQP (Advanced Message Queuing Protocol)

AMQP Est un Protocole de couche d'application standard ouvert pour l'IOT se concentrant sur des environnements axés sur les messages. Il requiert un protocole de transport sécurisé comme TCP pour échanger des messages. Il prend en charge une communication fiable via des primitives de garantie de livraison de messages, en définissant un protocole au niveau du fil, les implémentations AMQP

peuvent inter opérer entre elles. Les communications sont traitées par deux composants principaux :

•Échanges et files d'attente de messages. Les échanges sont utilisés pour acheminer les messages vers les files d'attente appropriées.

•Le routage entre les échanges et les files d'attente des messages repose sur certaines règles et conditions prédéfinies. Les messages peuvent être stockés dans les files d'attente, puis envoyés au récepteur par la suite. AMQP prend également en charge le modèle de communication publié [20].

## I.4. XMPP (Extensible Messaging and Presence Protocol)

XMPP Est une Norme de messagerie instantanée IETF (IM) qui est utilisé pour les conversations Multipartis, les appels vocaux et vidéo et la télé présence. Il permet aux utilisateurs de communiquer entre eux en envoyant des messages instantanés sur Internet quel que soit le système d'exploitation qu'ils utilisent. XMPP permet aux applications de messagerie instantanée d'accéder à l'authentification, au contrôle d'accès, à la mesure de la confidentialité, au cryptage hop-by-hop et à la compatibilité avec d'autres protocoles. Beaucoup de fonctionnalité XMPP en font un des protocoles Préfères par la plupart des applications de messageries instantanées et pertinentes Dans le cadre de l'IOT. Il fonctionne sur une variété de plateformes basées sur Internet de manière décentralisé. XMPP est sécurisé et permet d'ajouter de Nouvelles applications au-dessus des protocoles de base [21].

## I.5. MQTT (Message Queue Telemetry Transport)

Représente un protocole De messagerie idéal pour les communications IOT et M2M.

Il vise à connecter des périphériques et des réseaux intégrés aux applications et au middleware. MQTT utilise le modèle de publication souscription pour offrir une flexibilité de transition et une simplicité d'implémentation. Il convient aux périphériques à ressources Limitées qui utilisent des liens peu fiables ou à faible bande passante. MQTT est Construit en haut du protocole TCP. Il se compose de trois composants, abonnés, éditeurs et courtiers. De nombreuses applications utilisent MQTT telles que les soins de santé, la surveillance, le compteur d'énergie et la notification de Facebook. Par conséquent, le protocole MQTT permet d'acheminer les périphériques de petite taille, à faible consommation et à faible mémoire dans des zones vulnérables et Réseaux à faible bande passante.

## I.6. Quel est le meilleur protocole ?

Certains protocoles sont mieux adaptés que d'autres pour remplir ce besoin, le protocole MQTT est actuellement considéré comme l'un des candidats les plus sérieux pour assurer le transport des données au sein des architectures IoT. Donc nous avons considéré ce protocole comme étant à la fois suffisamment simple et intéressant pour constituer l'objet de notre étude.

# V. PROTOCOL MQTT

## I.7. MQTT (Message Queue Telemetry Transport)

Est un protocole M2M (Machine-to Machine). C'est un protocole de messagerie basé sur le publish/subscrib à la fois extrêmement simple et léger idéal pour l'Internet des objets. Il a été inventé par Andy Stanford-Clark (IBM) et Arlen Nipper (Arcom, maintenant Cirrus Link) en 1999, lorsque leur cas d'utilisation était de créer un protocole avec les objectifs suivants :

- Simple à mettre en œuvre.
- Fournir une qualité de service de livraison de données.
- Léger et faible consommation de la bande passante.

Par la suite, la version 3.1 a été libérée de droits en 2010, et le protocole est standardisé par l'OASIS en 2014 dans sa version 3.1.1. Il devient un standard ISO (ISO/IEC 20922) en2016 [15].

Aujourd'hui, avec l'essor de l'IOT, MQTT suscite un intérêt grandissant, dont on peut se rendre compte en observant l'évolution du nombre de recherches pour MQTT.

Les qualités de MQTT font de lui un excellent candidat pour les communications au sein de l'Internet des Objets, mais il a également été utilisé avec succès par Facebook pour être au cœur de leur système de messagerie à cause de sa performance, comme il est utilisé par Amazon web services dans ses passerelles pour permettre la diffusion des données à plusieurs abonnés sur un sujet donné.

La norme MQTT décrit le comportement attendu des brokers et clients MQTT, ainsi que les détails du format binaire employé pour les échanges [22].

## I.8. Mode de fonctionnement MQTT
## MQTT

Est un protocole de publication et de souscription de message. Les clients ne communiquent pas directement entre eux, ils publient des messages sur un broker (appelé aussi courtier), les messages sont composés d'un contenu et d'un sujet (topic).

Le broker garde en mémoire le dernier message pour chaque sujet. Les clients qui sont intéressés parles messages d'un sujet peuvent les récupérer en se connectant au broker. L'avantage de cette solution est qu'elle permet à plusieurs clients de communiquer même s'ils ne sont jamais connectés en même temps au broker.

Ce modèle consiste à organiser les messages par sujets (topics) et à gérer leur distribution selon le principe d'abonnement. Ainsi, toute application peut publier ses messages sur les topics de son choix, tandis que les applications intéressées par les messages d'un topic donné peuvent s'abonner pour recevoir tous les nouveaux messages publiés sur ce topic [33].

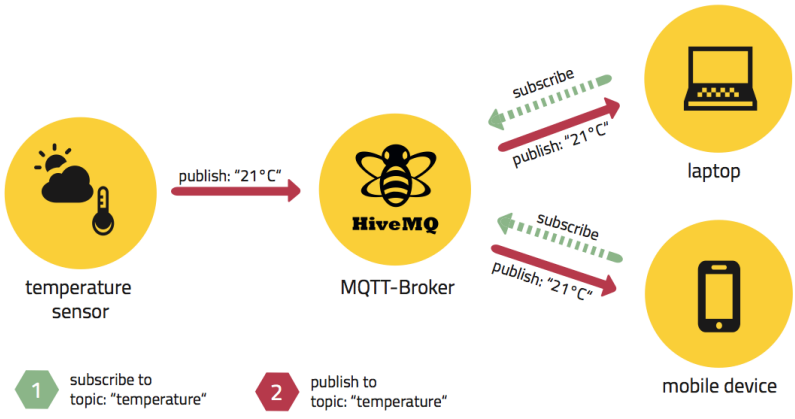



*Figure II. 1* **Exemples de topologies MQTT.**

## I.9. Abonnements et Publications

Chaque message publié est nécessairement associé à un sujet, ce qui permet sa distribution aux abonnés. Les sujets peuvent être organisés en hiérarchie arborescente, ainsi les abonnements peuvent porter sur des motifs de filtrage.

La gestion des abonnements est très simple et consiste en trois commandes essentielles:

**SUBSCRIBE** : Permet à un client de s'abonner à un topic, une fois abonné il recevra parla suite toutes les publications concernant ce sujet. Un abonnement définit également un niveau de qualité de service. La bonne réception de cette commande est confirmée par le broker par un SUBACK portant le même identifiant de paquet.

**UNSUBSCRIBE** : Donne la possibilité d'annuler un abonnement, et ainsi ne plus recevoir les publications ultérieures. La bonne réception de cette commande est confirmée par le broker par un UNSUBACK portant le même identifiant de paquet.

**PUBLISH :** Initié par un client, permet de publier un message qui sera transmis par le broker aux abonnés éventuels. La même commande sera envoyée par le broker aux abonnés pour délivrer le message. Si la qualité de service requise est supérieure à zéro, des messages seront échangés pour confirmer la prise en charge de la publication [24] [34].

## I.10. Les topics

Les clients de souscription MQTT s'enregistrent auprès du broker sur des topics, des sortes de chemins d'accès à une ressource. Ils demandent ainsi à être notifiés lorsque quelqu'un publie sur ces topics.

Cela peut être un topic de température par exemple : /sensor/1/temperature. On peut souscrire à un ensemble de topics en utilisant des wildcards # ou +.Par exemple, si un client publie sur les topics /sensor/1/temperature et /sensor/1/humidity, un autre client peut écouter ces deux topics à la fois : /sensor/1/#.Si plusieurs clients publient leurs températures et humidités en intercalant leur numéro de client sur leur topic, un autre client peut écouter toutes les températures ainsi : /sensor/+/temperature. Il recevra alors les températures du client1(/sensor/1/temperature), et du client 2 (/sensor/2/temperature), etc.

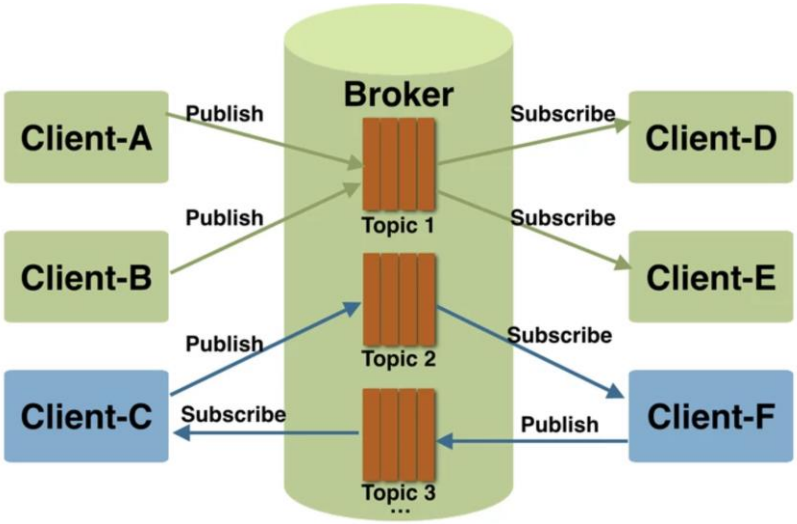



*Figure II. 2 Souscription au topic.*

## *I.11.* Qualité de service

Trois niveaux de qualité de service (QoS) sont définis pour la publication des messages :

- QoS 0 « Livraison une fois maximum ». Les messages sont envoyés en fonction des capacités maximum du réseau TCP/IP sous jacent. Aucune réponse n'est attendue. Aucune sémantique de relance n'est définie dansle protocole. Par conséquent, le message ne parvient pas du tout ou une seule fois aubroker de destination. Le niveau QoS 0 est également connu comme fire and forget.
- QoS 1 « Livraison au moins une fois ». L'arrivée d'un message QoS 1 au broker est reconnue. En cas d'échec identifiable de laliaison ou de l'unité d'envoi, ou bien après une certaine période de temps sans réceptiondu message d'accusé de réception, l'expéditeur envoie à nouveau une copie du message.Par conséquent, le message est sûr d'arriver, mais il peut le faire plusieurs fois.
- QoS 2 « Livraison exactement une fois ».

Pour le niveau QoS 2, d'autres flux de protocoles sont utilisés au-delà de QoS 1 pour que des messages ne soient pas envoyés en double à l'application de réception. Il s'agit du niveau de service le plus élevé qui sert lorsque des messages en double ne sont pas appropriés.

Il existe évidemment des conséquences en matière de trafic réseau, mais cet impact est souvent acceptable sachant l'importance du contenu du message. La

qualité de service peut être sélectionnée message par message, ce qui permet la publication des messages d'importance mineure avec le niveau QoS 0 et la distribution des messages plus importants avec QoS 2. Ces niveaux sont mis en œuvre par des échanges supplémentaires entre l'expéditeur et le récepteur, et plus la qualité demandée est élevée, plus il faudra d'échanges pour valider une publication comme illustré dans la figure II.3. Pour tous les niveaux supérieurs à zéro, un identifiant est associé au message pour permettre son suivi, MQTT prévoyant la possibilité d'avoir au plus 65535 messages en attente (l'identifiant de message tenant sur 16 bits) [25] [36].

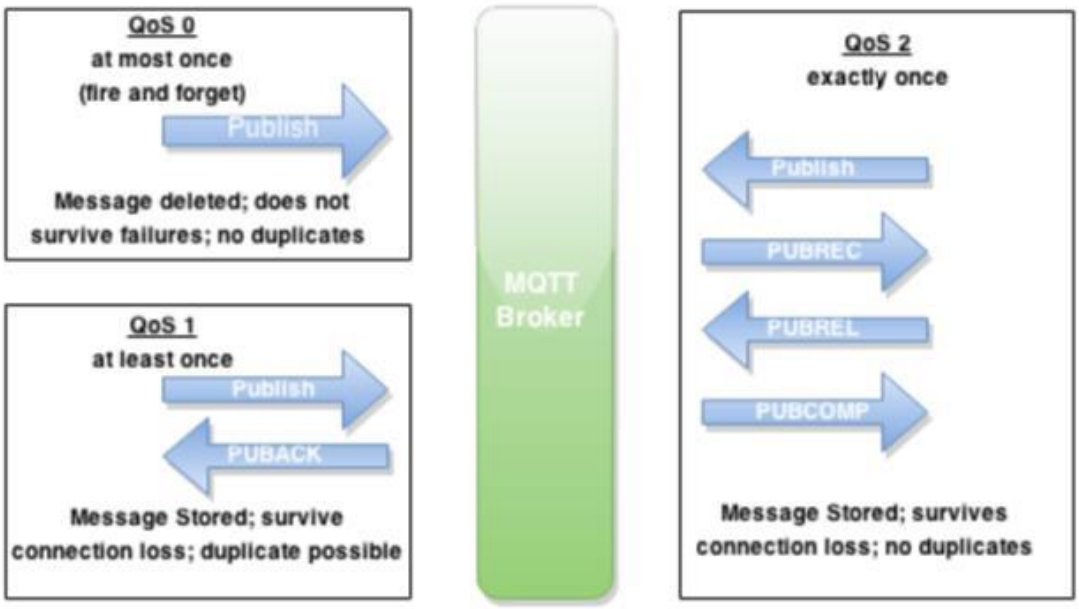



*Figure II. 3 : Niveaux de Qualité de Service MQTT.*

## I.12. Sécurité

Trois concepts sont fondamentaux pour la sécurité MQTT : identification, authentification et autorisation.

- Identification : consiste à nommer le broker et le client auquel on donne des droits d'accès.
- Authentification : cherche à prouver mutuellement l'identité du client et du broker.
- Autorisation : consiste à gérer les droits du client.

Le broker MQTT s'identifie auprès du client avec son adresse IP et son certificat numérique. Le client MQTT utilise le protocole SSL pour authentifier le certificat envoyé par le broker. Un client authentifie un broker à l'aide du protocole SSL. Un broker MQTT authentifie un client à l'aide du protocole SSL, d'un mot de passe, ou des deux. L'autorisation ne fait pas partie du protocole MQTT. Elle est fournie par les brokers MQTT. Ce qui est autorisé ou non dépend de ce que fait le broker [26].

## CONCLUSION

Dans ce chapitre nous avons présenté les types de réseaux pour l'IOT, et les différentes familles de protocole et que chacune d'elles réponde à un besoin spécifique dans l'IOT, cela permet de sélectionner le bon protocole en fonction des objets connectées utilisés dans notre écosystème IOT.

Nous avons vu que MQTT est un protocole tout à la fois minimaliste et très simple à mettre en œuvre (en particulier du côté client). Malgré tout, il reste suffisamment souple et extensible pour suffire aux besoins d'un bon nombre d'applications, et est donc particulièrement adapté au contexte de l'IoT. C'est pour ces raisons que nous avons choisi ce protocole dans la conception de notre plateforme.

# CHAPITRE III : CONCEPTION ET REALISATION DU PROTOTYPE

## INTRODUCTION

Dans ce chapitre, nous allons présenter deux parties principales : la première partie qui concerne l'environnement de travail et la deuxième partie qui présente les différentes étapes pour la réalisation de notre projet.

# I. CONCEPTION DE LA CARTE ELECTRONIQUE

## I.1. Microcontrôleur ESP32

L'ESP32 est une petite carte électronique, appelée microcontrôleur, facile à prendre en main grâce à ses ressemblances avec la carte Arduino qui est bien plus répandue. L'ESP32 peut avoir différentes tailles [37][38] [40].

*Figure III. 1 : Brochage global de la Carte ESP32.*

### *I.1.1. Présentation de l'ESP32*

Par souci de simplicité, nous allons faire des groupes de broches avec des fonctionnalités similaires, (comme le montre la Figure III-1) [41] [42][43] :

- **Broches d'alimentation :** Il y a deux broches d'alimentation, à savoir. Broche VIN et broche 3.3V. La broche VIN peut être utilisée pour alimenter directement l'ESP32 et ses périphériques, si vous disposez d'une source de tension régulée 5V. La broche 3,3 V est la sortie d'un régulateur de tension embarqué. Cette broche peut être utilisée pour alimenter des composants externes.
- **GND :** est une broche de terre de la carte de développement ESP32. **Les broches Arduino :** ne sont rien d'autre que les broches matérielles I2C et SPI d'ESP32 pour connecter toutes sortes de capteurs et de périphériques dans votre projet.
- **GPIO Pins** : La carte de développement ESP32 dispose de 25 broches GPIO qui peuvent être affectées à diverses fonctions par programmation. Chaque GPIO activé numériquement peut être configuré en pull-up ou pull-down interne, ou réglé sur une impédance élevée. Lorsqu'il est configuré en tant qu'entrée, il peut également être défini sur un déclenchement sur front ou sur un déclenchement par niveau pour générer des interruptions CPU.
- **Canaux ADC :** La carte intègre des ADC SAR 12 bits et prend en charge les mesures sur 15 canaux (broches compatibles analogiques). Certaines de ces broches peuvent être utilisées pour construire un amplificateur à gain programmable qui est utilisé pour la mesure de petits signaux analogiques. L'ESP32 est également conçu pour mesurer les tensions tout en fonctionnant en mode veille.
- **Canaux DAC :** La carte dispose de deux canaux DAC 8 bits pour convertir les signaux numériques en véritables tensions analogiques. Ce double DAC peut piloter d'autres circuits.
- **UART Pins :** La carte de développement ESP32 dispose de 2 interfaces UART, c'est-à-dire UART0et UART2, qui fournissent une communication asynchrone

(RS232 et RS485) et une prise en charge IrDA, et communiquent jusqu'à 5 Mbps. UART fournit également une gestion matérielle des signauxCTS et RTS et un contrôle de flux logiciel (XON et XOFF).

- **SPI Pins :** ESP32 dispose de trois SPI (SPI, HSPI et VSPI) en modes esclave et maître. Ces SPI prennent également en charge les fonctionnalités SPI générales suivantes : 4 modes de synchronisation du transfert au format SPI. Jusqu'à 80 MHz et les horloges divisées de 80 MHz. FIFO jusqu'à 64 octets. Tous les SPI peuvent également être utilisés pour se connecter au Flash/SRAM externe et à l'écran LCD.
- **Broches PWM :** La carte dispose de 25 canaux (presque toutes les broches GPIO) de broches PWM contrôlées par le contrôleur de modulation de largeur d'impulsion (PWM). La sortie PWM peut être utilisée pour piloter des moteurs numériques et des LED. Le contrôleur se compose de temporisateurs PWM et de l'opérateur PWM. Chaque temporisateur fournit une synchronisation sous forme synchrone ou indépendante, et chaque opérateur PWM génère la forme d'onde pour un canal PWM.
- **EN Pin :** est utilisée pour activer l'ESP32. La puce est activée lorsqu'elle est tirée HAUT. Lorsqu'elle est tirée LOW, la puce fonctionne à une puissance minimale.

### *I.1.2. Caractéristiques techniques*

Les ESP32 comprennent notamment les caractéristiques techniques suivantes [44]:

| | |
|---|---|
| **Mémoire** | 520 Ko SRAM |
| **Connectivité sans-fil** | Wifi : 802.11 b/g/n |
| | Bluetooth: v 4.2 BR/EDR and BLE jusqu' à v 5.0 et v 5.1 |
| | 3 × interfaces UART |
| | 2 × interfaces I2C |

| | |
|---|---|
| **Interfaces de périphériques** | 3 × interfaces SPI |
| | 16 × sorties PWM |
| | 10 × capteurs capacitifs |
| | 18 × entrées analogiques (ADC) |
| | 2 × sorties DAC.[28] |

*Tableau III. 1 : Caractéristiques techniques de l'ESP32.*

### *I.1.3. Puissance Requise*

Étant donné que l'ESP32 fonctionne à partir d'une plage de tension de 2,2 V à 3,6 V, la carte est livrée avec un régulateur LDO pour stabiliser la tension à 3,3 V, elle peut fournir de manière fiable jusqu'à 600 mA, ce qui devrait être plus que suffisant lorsque l'ESP32 est pompé. Pendant la transmission RF est de 250mA. La sortie du régulateur est également divisée sur un côté de la carte et étiquetée 3.3V. Cette broche peut être utilisée pour alimenter des composants externes, (figure III.2) [39].

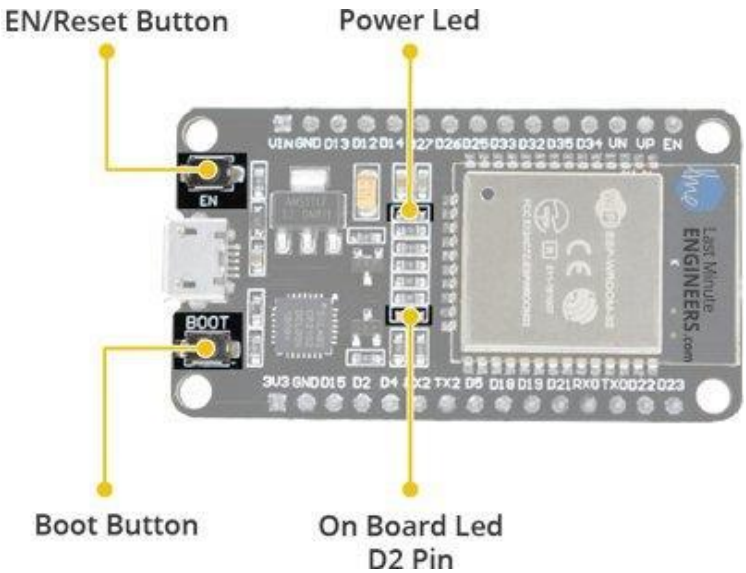



*Figure III. 2 : Brochage 1 de la Carte ESP32.*

### *I.1.4. Communication série*

La carte comprend le contrôleur de pont USB vers UART CP2102 de Silicon Labs, qui convertit le signal USB en série et permet à votre ordinateur de programmer et de communiquer avec la puce ESP32, mentionné dans la Figure III-3.

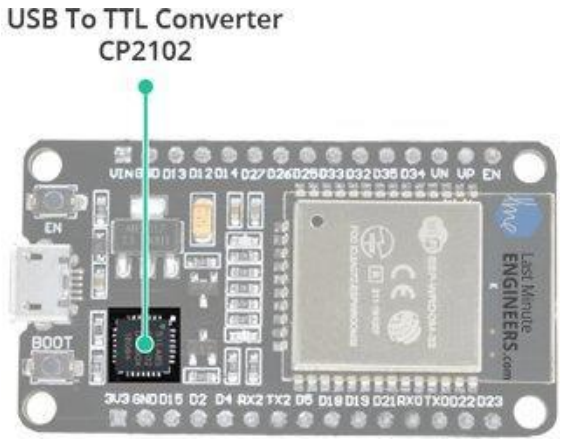



*Figure III. 3 : Brochage 3 de la Carte ESP32.*

## I.2. Capteurs

### *I.2.1. Capteur Température & humidité (DHT11)*

Capteur Température & humidité communique avec le microcontrôleur via une unique broche grâce au protocole OneWire, cette technologie utilisée par le capteur DHT11 garantie une grande fiabilité, une excellente stabilité à long terme et un temps de réponse très rapide. Ces capteurs sont assez simples à utiliser, peu coûteux et conviennent parfaitement aux amateurs qui souhaitent ressentir le monde qui les entoure [29] [38].

*Figure III. 4 : Capteur DHT11.*

| | |
|---|---|
| Alimentation | 3 à 5 V |
| Consommation : | 0.5 mA en nominal / 2.5 mA maximum |
| Etendue de la mesure de température | 0°C ~ 50°C |
| Etendue de la mesure de l'humidité | 20 ~ 80% |
| Précision : | Température => +/- 2°C et Humidité => +/- 5% |
| Période de mesure | 1Hz (1 mesure par seconde) |
| Dimensions | 12x15.5x5.5 mm |
| Stabilité à long terme | +/- 1% par an |

*Tableau III. 2 : Caractéristiques techniques de Capteur Température & humidité (DHT11).*

### *I.2.2. Capteur de Gaz (MQ-2)*

Module de qualité de l'air du capteur de fumée MQ-2 peut détecter une concentration minimale d'hydrogène et de gaz hydrocarbures (propane, méthane, butane) dans l'air. Les capteurs de gaz MQ-2 sont utilisés dans les projets de maisons intelligentes pour la détection rapide de gaz ou de fumée. Le détecteur appartient à

la famille des capteurs MQ, qui sont peu coûteux, faciles à utiliser et à connecter au microcontrôleur Arduino [30] [39].

*Figure III. 5 : Capteur de gaz MQ-2.*

Le principe du capteur est basé sur un détecteur constitué d'un alliage d'étain et d'oxyde d'aluminium, qui s'échauffe considérablement pendant le fonctionnement du capteur. La réaction chimique qui se produit lorsque les molécules d'hydrocarbures gazeux entrent en contact avec l'élément de détection modifie la résistance du capteur. En mesurant la variation de la résistance, il est possible de connaître la concentration exacte de gaz dans l'air [30].

| | |
|---|---|
| Alimentation | 5 Vcc |
| Plage de mesure | 10 à 10000 ppm |
| Sortie | Analogique et digitale (seuil ajustable via potentiomètre) |
| Sensibilité | 2 à 20 KΩ |
| Temps de réponse | Faible |
| Sensibilité | Haute |
| Température de service | -20 à 50 °C |
| Dimensions | 30 x 20 x 22 mm [30] |

*Tableau III. 3 : Caractéristiques techniques de Capteur de gaz (MQ-2).*

Caractéristiques techniques de Capteur de gaz (MQ-2)

### *I.2.3. Capteur de flamme (LM393)*

Les détecteurs de flammes actuels utilisent des technologies optiques. Il est établi que les flammes émettent des rayonnements électromagnétiques dans les

longueurs d'ondes infrarouges (IR), la lumière visible et les longueurs d'ondes ultraviolettes (UV), selon la source du combustible. Les détecteurs s'appuient sur la portée optique du rayonnement émis dans les bandes spectrales pour déterminer s'il s'agit véritablement d'une flamme. Le détecteur utilisé est le LM393. Ce module est sensible à la flamme, mais qui peut également détecter la lumière ordinaire est habituellement utilisé comme alarme de flamme [36].

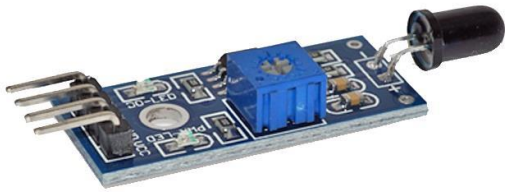


*Figure III. 6 : Capteur de flamme LM393.*

| | |
|---|---|
| Consommation | 20 mA |
| Tension de fonctionnement | De 3,3v à 5v |
| Plage de mesure | 760 à 1100 nm |
| Portée de détection | 0 à 1 mètre environ |
| Dimensions | 32 x 24 x 15 mm |
| Température de service | -25 à +85°C |
| Angle de détection | Environ 60 degrés |

*Tableau III. 4 : Caractéristiques techniques de Capteur de flamme LM393.*

## II. LOGICIELS ET OUTILS DE PROGRAMMATION

Différents logiciels et outils de programmation ont été utilisés pour la réalisation de ce prototype, cette partie offre une brève description pour chacun d'entre eux.

## II.1. IDE Arduino

IDE Arduino s'agit d'une application multiplateforme écrite avec des fonctions de C et C++. Il est utilisé pour écrire et télécharger des programmes sur des cartes compatibles Arduino. Le code source de l'IDE est publié sous la licence publique générale GNU, version 2. L'IDE Arduino prend en charge les langages C et C++ en utilisant des règles de structuration de code spéciales.

L'IDE Arduino fournit une bibliothèque logicielle du projet Wiring, qui fournit de nombreuses routines d'entrée et de sortie courantes. Le code écrit par l'utilisateur ne nécessite que deux fonctions de base, pour démarrer le diagramme et la boucle du programme principal, qui sont compilés et liés avec stub main () dans un programme exécutable cyclique avec la chaîne d'outils GNU, également inclus dans la distribution IDE [38].

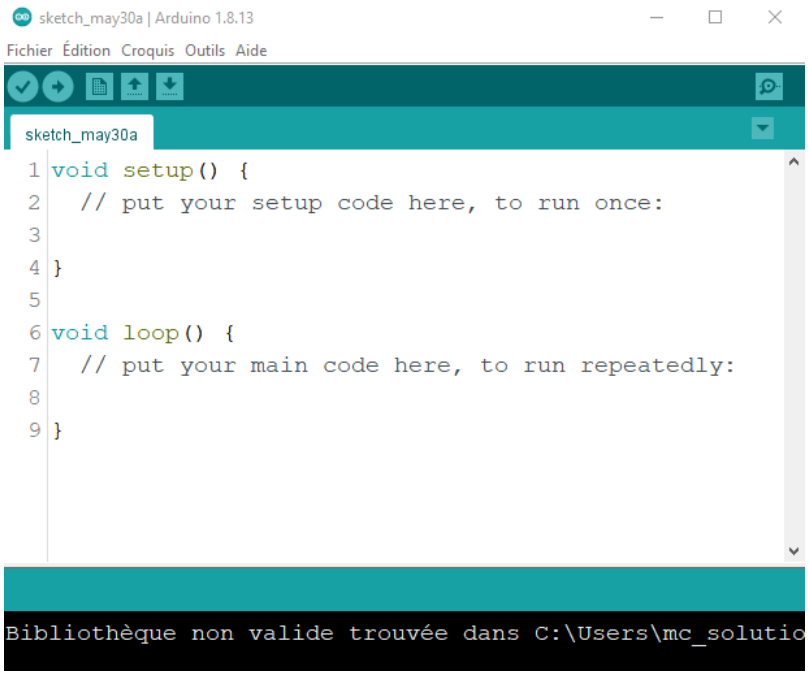



*Figure III. 7 : Interface IDE Arduino.*

La configuration de L'IDE Arduino pour l'EPS32 est d'écrit on détail dans l'annexe 1.

## II.2. Node-RED

Node-Red est un outil puissant qui peut être utilisé en construire des applications de l'Internet des Objets émettant l'accent sur la simplification de la programmation qui se fait grâce à des blocs de code prédéfinis, appelés Nodes. Il utilise une approche de programmation visuelle qui permet aux développeurs de connecter les blocs de code ensemble comme le montre la figure ci-dessous (Figure III.8).

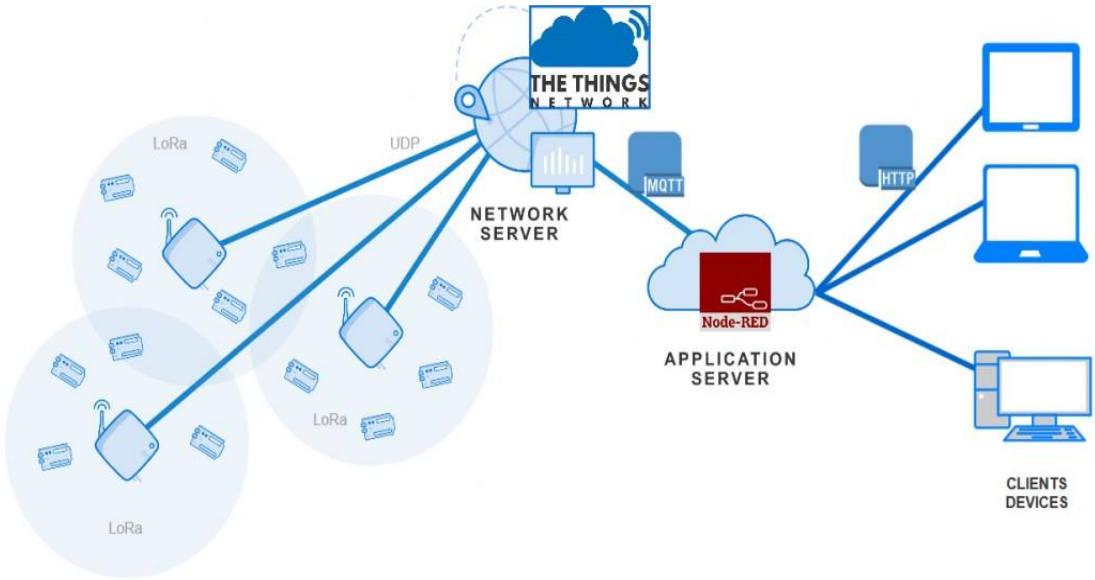



*Figure III. 8 : Node-Red.*

L'interface de développement Node-RED et son principe de programmation sont présentés en Annexe II.

# III. REALISATION DU PROTOTYPE

## III.1. Schéma Bloque

### *III.1.1. Schéma bloc d'une zone*

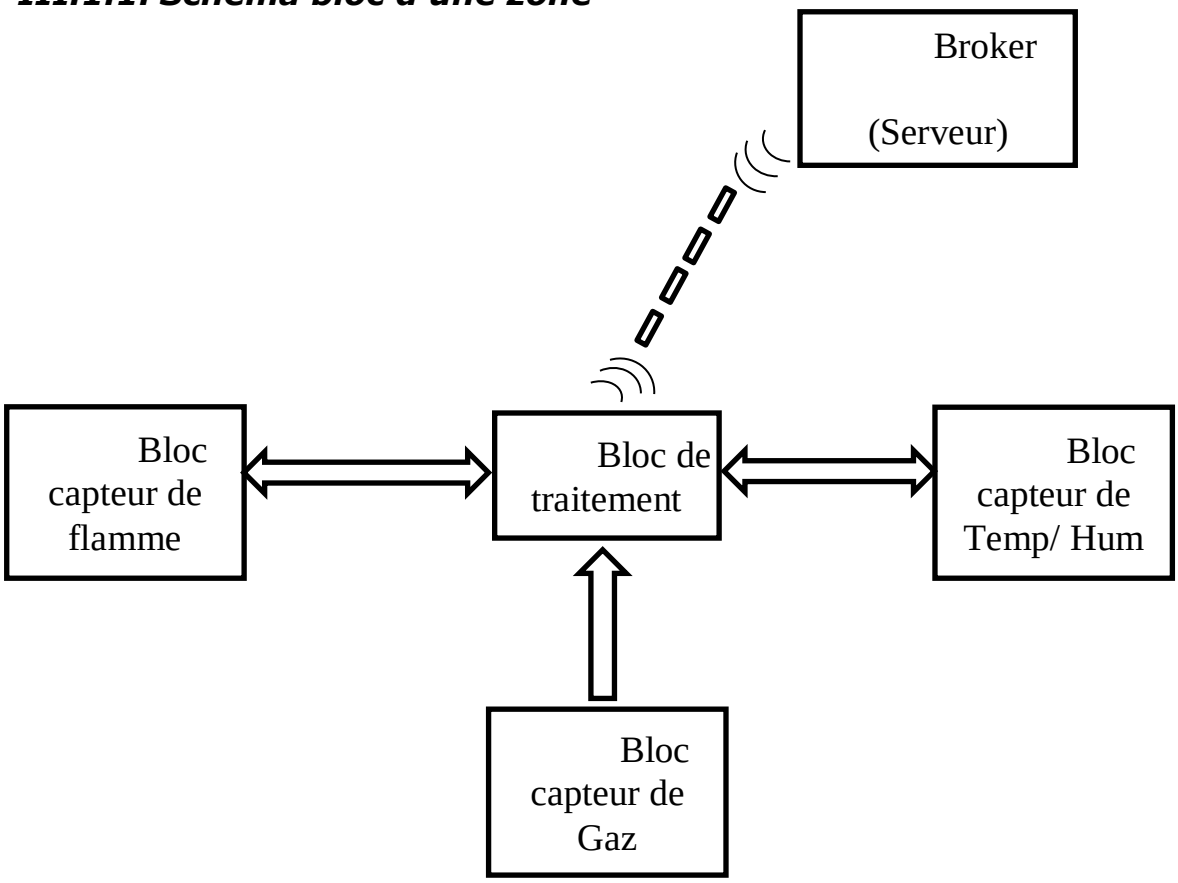



*Figure III. 9 : Schéma bloc d'une zone.*

### *III.1.2. Schéma bloc global (Synoptique)*

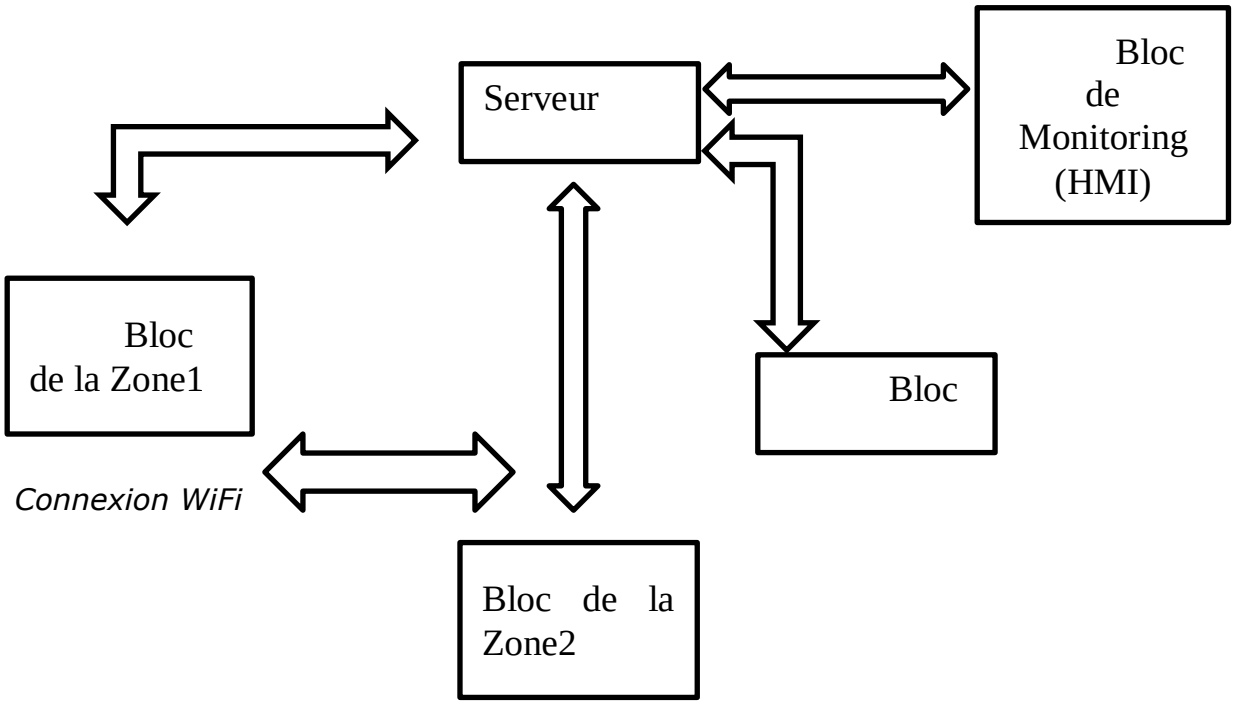



*Figure III. 10 : Schéma bloc global.*

## III.2. Circuit électronique

### *III.2.1. Circuit sous ISIS Proteus*

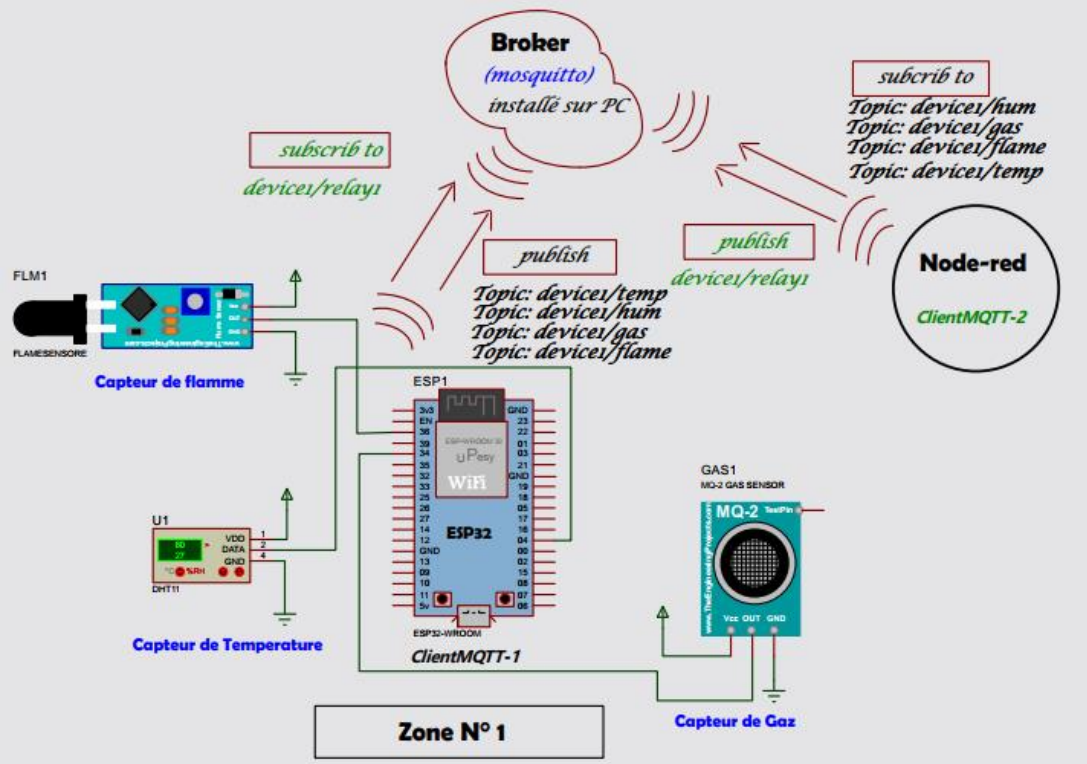



*Figure III. 11 : Circuit sous ISIS Proteus pour une zone.*

### *III.2.2. Circuit sur plaque d'essai*

Pour les trois zones (comme le montre la Figure III-11) :

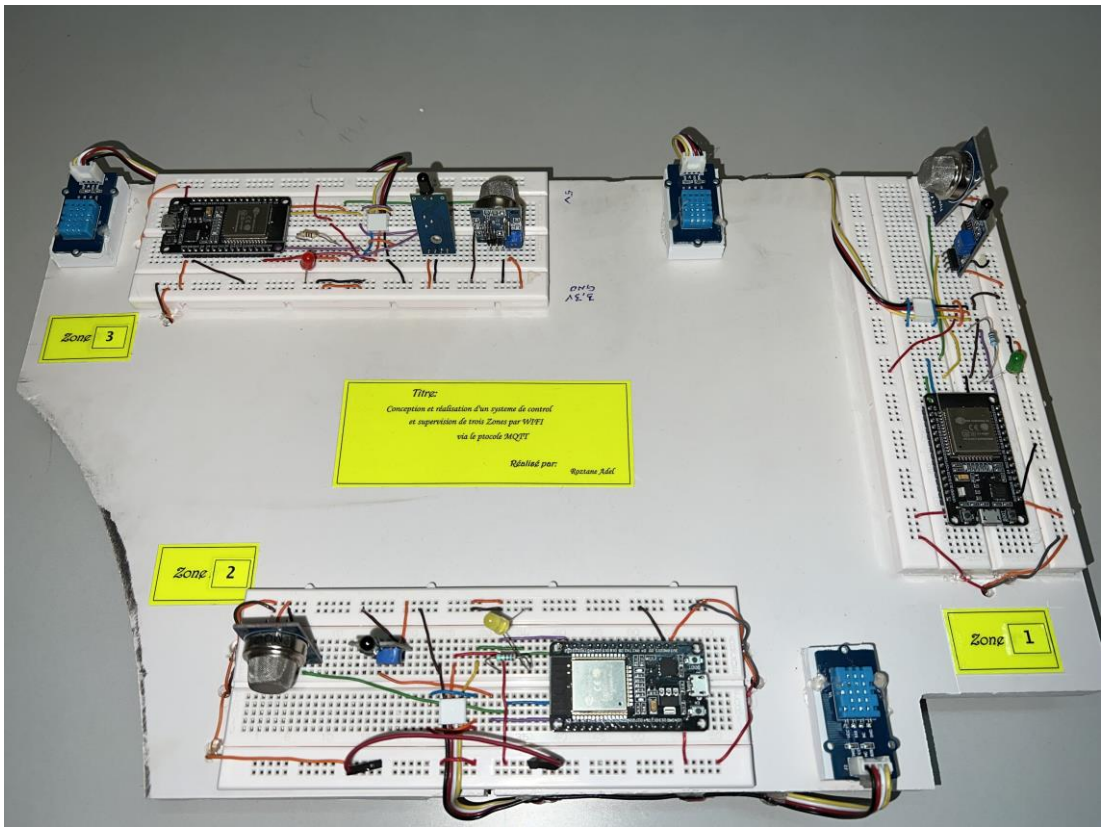



*Figure III. 12 : Circuit global sur plaque d'essai.*

Pour une seule zones (comme montre la Figure III-12) :

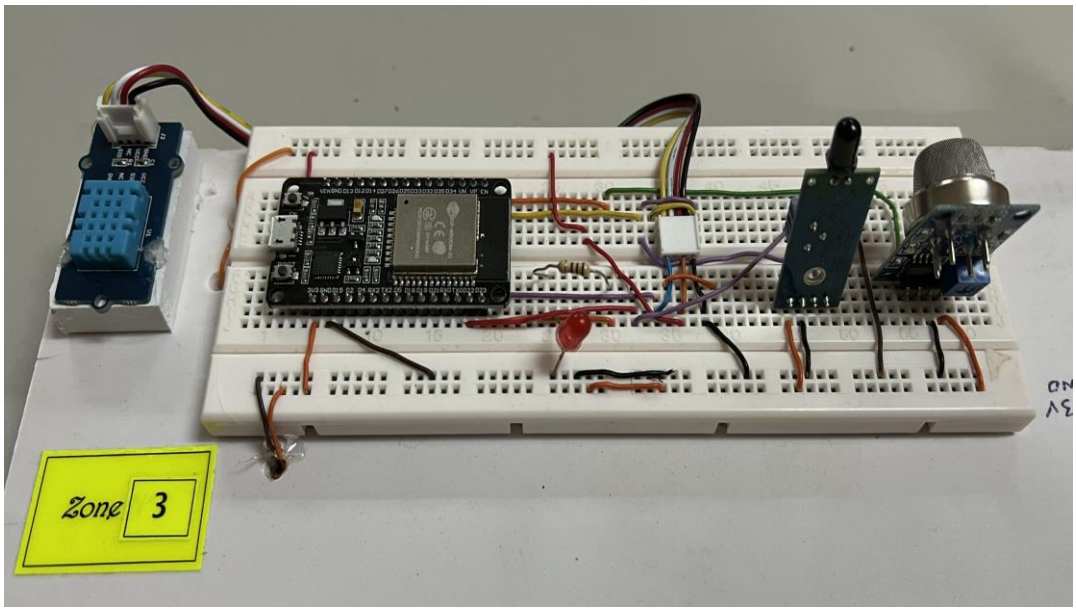
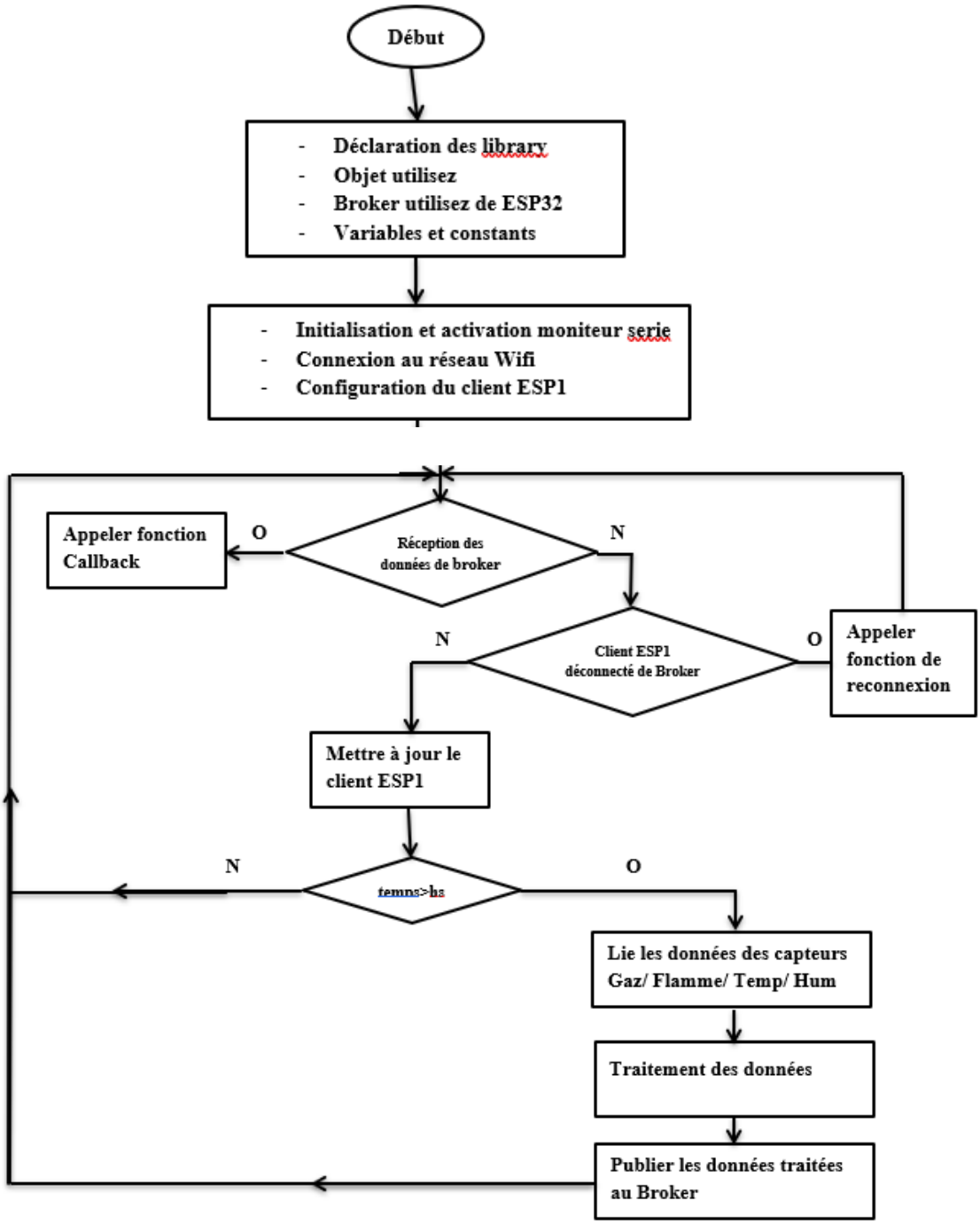


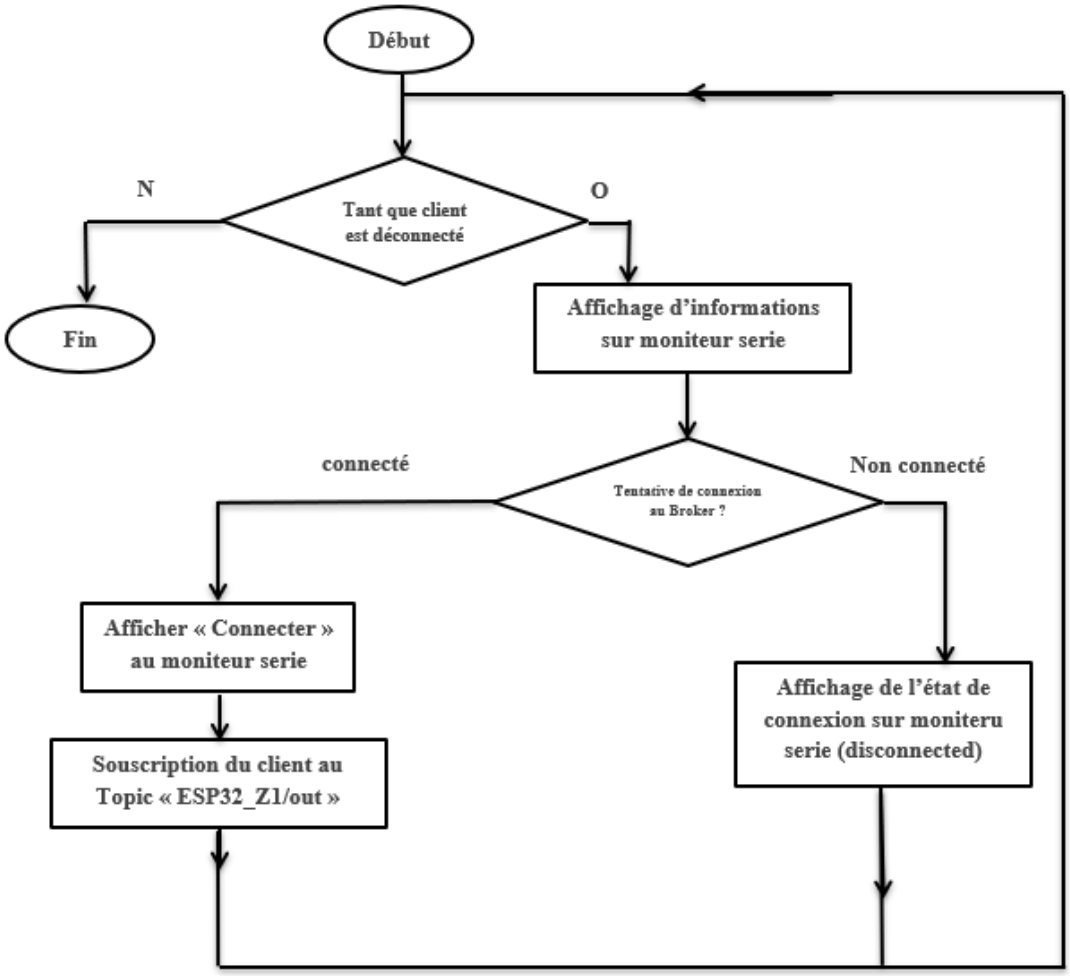

*Figure III. 13 : Circuit pour une seule zone sur plaque d'essai.*

## III.3 Principe de fonctionnement :

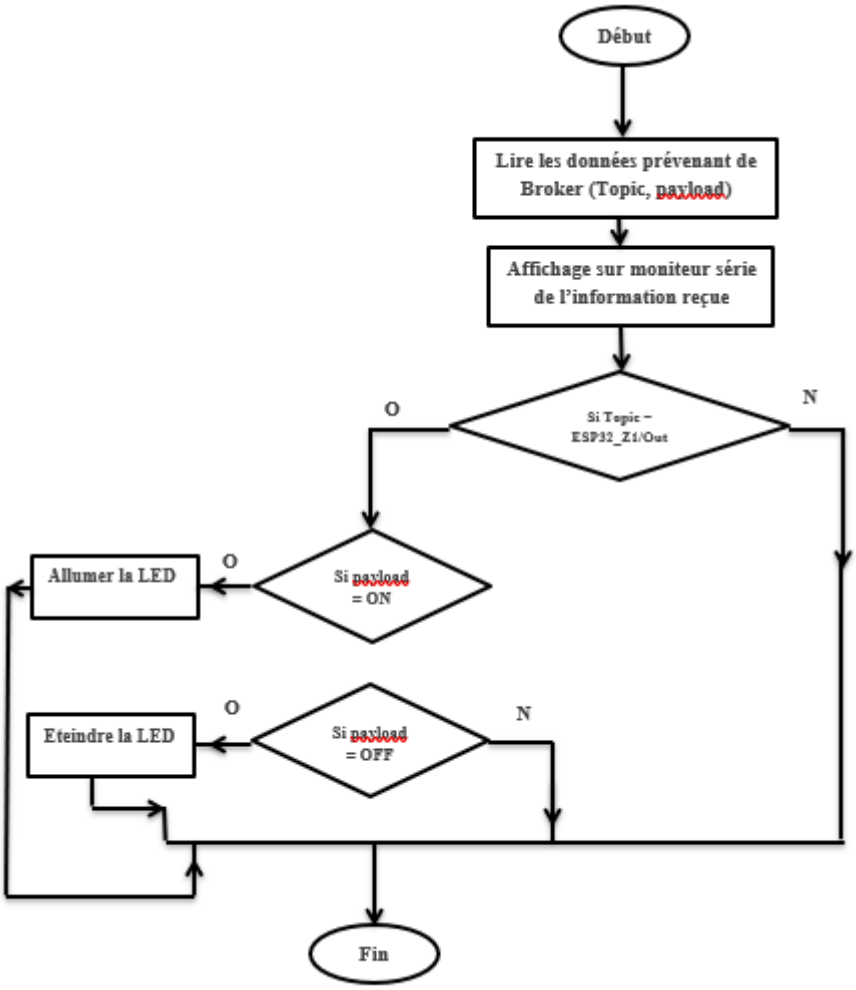
### *III.3.2* Organigramme ***du client ESP – Zone***



### *III.3.2 Organigramme de la fonction reconnexion Broker*




### *III.3.3 Organigramme de la fonction Callback*


Début
Lire les données prévenant de Broker (Topic, payload)
Affichage sur moniteur série de l'information reçue
Si Topic = ESP32_Z1/Out
O
N
Si payload = ON
O
Allumer la LED
Si payload = OFF
O
N
Eteindre la LED
Fin

## CONCLUSION

La partie de réalisation donne une idée plus claire sur notre proposition. Dans ce chapitre nous avons présenté notre simulation par la présentation de ses principales interfaces graphiques. Grâce à cette simulation nous avons pu montrer l'utilité de notre proposition.

# CONCLUSION GÉNÉRALE

À travers ce modeste travail, nous avons eu l'occasion d'utiliser plusieurs outils informatiques et électroniques qui sont nécessaires pour la réalisation de notre projet de fin d'étude, pour créer un système permettant de supervision la température , humidité, gaz et flamme dans des zones.

Au cours de ce mémoire, nous avons présenté au début une vue générale sur l'incendie (origines, causes, les différents types ,propagations et les conséquences) et sur l'internet des objets (définition, domaine d'application, l'architecture, et les défis et les avantages de l'IOT), dans le deuxième chapitre nous avons vu les différents protocoles de l'IOT, puis, nous avons présenté le protocole MQTT (Définition, mode fonctionnement, les topics, la Qualité de service, et la sécurité). Dans le

dernier chapitre relatif à l'implémentation et réalisation, nous avons présenté d'abord en première partie, l'environnement de travail (le logiciel Arduino, carte microcontrôleur ESP32, le capteur DHT11, le capteur LM393, le capteur MQ-2, Node-Red, et le broker MOSQUITTO), et dans la deuxième partie la réalisation pratique de notre projet. Nous souhaitons vivement que ce projet puisse servir comme élément de base pour d'autres études plus approfondies et pouvant même être intégré dans d'autres système IOT plus complexes.

# BIBLIOGRAPHIQUES

[1] EL SAKAAN, Nadim, HIDJEB, Ali, et al. Implémentation d'un protocole d'élection d'un serveur d'authentification dans l'internet des objets. 2017. Thèse de doctorat. Université abderrahmane mira béjaia.

[2] https://bscw.5gppp.eu/pub/bscw.cgi/d208247/IoT%20Rapport%20Abstract.pdf ,accédé le 29/06/2019

[3] ROSE, K., ELDRIDGE, S., et CHAPIN, L. The internet of things: An overview. The Internet Society (ISOC). 2015.

[4] SALEH, Imad. Internet des Objets (IdO): Concepts, enjeux, défis et perspectives. Revue Internet des objets, 2018, vol. 2, no 10.21494.

[5] https://www.pensezcybersecurite.gc.ca/cnt/rsks/ntrnt.../bsnss-fr.aspx , accédé 29/06/2019

[6] CHALLAL, Yacine. Sécurité de l'Internet des Objets: vers une approche cognitive et systémique. 2012. Thèse de doctorat. Université de Technologie de Compiègne.

[7] EVANS, Dave. L'Internet des objets. The Internet of Things. The Cisco White, Aprill, 2011.

[8] https://thingspeak.com/pages/learn_more accédé le 26/06/2019.

[9] LEILA, DJEFFAL. Gestion dynamique du spectre pour l'Internet des objets (IoT).

[10] PATEL, Keyur K., PATEL, Sunil M., et SCHOLAR, P. Internet of things-IOT: definition, characteristics, architecture, enabling technologies, application & future challenges. International journal of engineering science and computing, 2016, vol. 6, no 5.

[11] SETHI, Pallavi et SARANGI, Smruti R. Internet of things: architectures, protocols, and applications. Journal of Electrical and Computer Engineering, 2017, vol. 2017.

[12] Rafael Marques, Système de produits et services basés sur l'internet des objets,Mémoire de maîtrise des sciences appliquées, école polytechnique de Montréal,juillet 2018

[13] Zeinab Kamal Alden Mohammed, El Mustafa Sayed Ali Ahmed, Internet of ThingsApplications, Challenges and Related Future Technologies. WSN 67(2) 126-148, 2017.

[14] Dr. Ovidiu et all, Internet of Things–From Research and Innovation to MarketDeployment, EU,Belgium, river publishers' series in Communications, 2014.

[15] MEGNAFI, Hicham, BOUKLI-HACENE, Noureddine, RAVUE, Nathalie, et al. The use of Harmonic Balance in Wave Concept Iterative Method for Nonlinear Radio Frequency Circuit Simulation. International Journal of Advanced Computer Science and Applications, 2018, vol. 9, no 3.

[16] Gartner's 2014 hype cycle for emerging technologies maps the journey to digital business", August 2014, https://www.gartner.com/en/newsroom/press ,releases/2014-08-11-gartners-2014-hype-cycle-for-emerging-technologies-maps-thejourney-to-digital-business, consulté le 06 /09/2020.

[17] https://www.fun-mooc.fr/c4x/MinesTelecom/04013/asset/S4-5_-Objets ,communicants.pdf accédé le 25/06/2019

[18] Protocoles à connaître pour l'Internet des objets (IoT), RS Components 20 April2015,https://www.rs-online.com/designspark/eleven-internet-of-things-iot-protocols-you,need-toknow-about-fr, consulté le 14/06/2020.

[19] KHANNA, Abhishek et KAUR, Sanmeet. Evolution of Internet of Things (IoT) and its significant impact in the field of Precision Agriculture. Computers and electronics in agriculture, 2019, vol. 157, p. 218-231.

[20] R. Achour et N.Makhloufi, Authentification dans l'internet des objets. UniversitéA/MIRA de Bejaia, 2017

[21] MEGNAFI, Hicham, HADDOUCHE, Khayra, et KARAOUZENE, Zoheir. Creation of an application under MapBasic for the drive test reports automation in cellular networks. In : 2022 7th International Conference on Image and Signal Processing and their Applications (ISPA). IEEE, 2022. p. 1-6.

[22] MEGNAFI, Hicham. Frequency plan optimization based on genetic algorithms for cellular networks. Journal of Communications Software and Systems, 2020, vol. 16, no 3, p. 217-223.

[23] URL:http://www.hivemq.com/blog/mqtt-essentials-part-5-mqtt-topics-best practices, consulté le 28 /06/2020.

[24] MEGNAFI, Hicham, CHELLAL, Arezki Abderrahim, et BENHANIFIA, Abdeldjalil. Flexible and automated watering system using solar energy. In : International Conference in Artificial Intelligence in Renewable Energetic Systems. Springer, Cham, 2020. p. 747-755.

[25] URL: http://programmingwithreason.com/article-mqtt-in-depth.html, consulté le 10/07/2020.

[26] https://lastminuteengineers.com/esp32-arduino-ide-tutorial/

[27] ABDELLAOUI, Ghouthi, MEGNAFI, Hicham, et BENDIMERAD, Fethi Tarik. A novel model using Reo for IoT self-configuration systems. In : 2020 1st International Conference on Communications, Control Systems and Signal Processing (CCSSP). IEEE, 2020. p. 1-5.

[28] Chellal, A. A., Gonçalves, J., Lima, J., Pinto, V., & Megnafi, H. (2021). Design of an Embedded Energy Management System for Li–Po Batteries Based on a DCC-EKF Approach for Use in Mobile Robots. Machines, 9(12), 313.

[29] https://www.carnetdumaker.net/articles/utiliser-un-capteur-de-temperature-et-dhumiditedht11-dht22-avec-une-carte-arduino-genuino/

[30] Megnafi H., Haddouche K., Abdellaoui G.,Boukli N., Analysis and evaluation of the radio link by developing an application under MapBasic, Conférence Nationale sur les Télécommunications et ses Applications Décembre 20-21, 2021

[31] http://www.ardwtech.com/shop/development-accessoire/69-capteur-de-flammearduino.html?fbclid=IwAR0EyD387myph7LTsUQDPvCRTtXBvPgdgmW7Xj2Xl4JRUtoqQigqhM52Ik

[32] Chellal, A. A., Lima, J., Gonçalves, J., & Megnafi, H. (2021, July). Novel SOC Monitoring Approach for Lithium Batteries. In 1st Symposium of Applied Science for (p. 43).

[33] CHELLAL, Arezki Abderrahim, LIMA, José, GONÇALVES, José, et al. Battery management system for mobile robots based on an extended Kalman filter approch. In : 2021 29th Mediterranean Conference on Control and Automation (MED). IEEE, 2021. p. 1131-1136.

[34] MEGNAFI, Hicham et MEDJATI, Walid Yassine. Study and Assembly of Quadrotor UAV for the Inspection of the Cellular Networks Relays. In : International Conference in Artificial Intelligence in Renewable Energetic Systems. Springer, Cham, 2020. p. 659-668.

[35] CHELLAL, Arezki A., LIMA, José, GONÇALVES, José, et al. Dual Coulomb Counting Extended Kalman Filter for Battery SOC Determination. In : International Conference on Optimization, Learning Algorithms and Applications. Springer, Cham, 2021. p. 219-234.

[36] A.A Chellal, H. Megnafi, A. Benhanifia, Design and conception of an autonomous watering system, arden (a muti application watering system), NewMat'21 – 1st International Conference : New Trends on Innovative Construction Materials ESSA-Tlemcen (Algeria) –23, 23 March, 2022

[37] H. Megnafi, A. Ayad, W. Tabib, A. A Mouaziz, R. Ould Babaali, I. Medjhoud, Improved printing time by changing the mechanical part of the 3D printer, embedded system application, NewMat'21 – 1st International Conference : New Trends on Innovative Construction Materials ESSA- Tlemcen (Algeria) –23, 23 March, 2022

[38] H. Megnafi, W.Y. Medjati, K. Haddouche, Implementation and use of Quadrotor UAV for the telecommunication applications, NewMat'21 – 1st International Conference : New Trends on Innovative Construction Materials ESSA- Tlemcen (Algeria) –23, 23 March, 2022

[39] M.A. Brahami, H. Megnafi, H. Boukeffous, O. Benlaldj, Design and implementation of an embedded system for effective attendance management, NewMat'21 – 1st International Conference : New Trends on Innovative Construction Materials ESSA-Tlemcen (Algeria) –23, 23 March, 2022

[40] MEGNAFI, Hicham, ABDELLAOUI, Ghouti, et MR BRAHAMI, Mustapha Anwar. Systèmes à Microcontrôleur. 2019.

[41] ABDELLAOUI, Ghouti et MEGNAFI, Hicham. Systèmes embarqés et temps réel (RaspberryPi). 2019.

[42] BRAHAMI, Mustapha Anwar et MEGNAFI, Hicham. Polycopie TP Réseaux et Protocoles. 2022.

[43] https://fr.wikipedia.org/wiki/ESP32

[44] https://arduino-france.site/mq2-arduino/

[45] https://en.wikipedia.org/wiki/Arduino_IDE

# ANNEXE :

# ANNEXE I : CONFIGURATION DE L'IDE ARDUINO POUR L'ESP32

L'installation des outils nécessaires à la programmation de l'ESP32 via l'Arduino IDE.Vérifiez qu'il s'agit d'une version récente (> 1.8), avec IDE Arduino nous ne pouvons Programmer que les cartes Arduino, C'est pour cela que nous allons installer les outils spécifiques de l'ESP32 pour pouvoir l'utiliser au sein de l'Arduino IDE [40] [41] [42]. Maintenant que l'Arduino IDE est prêt, il faut installer les outils de développement spécifiques aux cartes ESP32 (Ils sont différents de ceux de l'ESP8266). Pour installer les outils nécessaires, il faut :

- Aller dans Fichier > Préférences

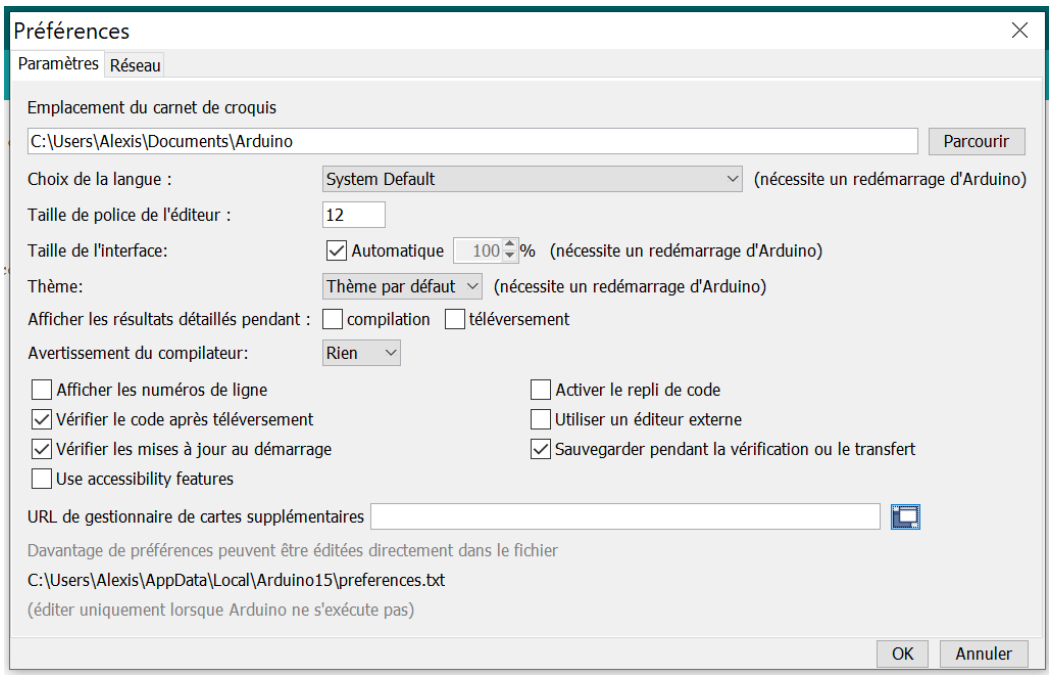



*Figure A.I. 1 :Configuration de l'IDE Arduino pour ESP32 (étape 1).*

Cliquer sur URL de gestionnaires de cartes supplémentaires et ajouter l'URL :

```
https://dl.espressif.com/dl/package_esp32_index.json

    Or:
https://raw.githubusercontent.com/espressif/arduino-esp32/gh-pages/package_esp32_index.json
```

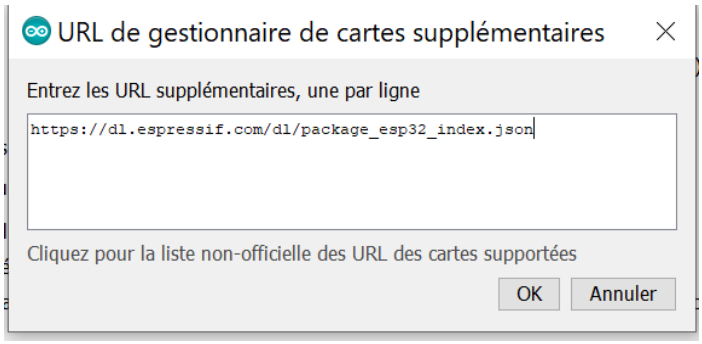



*Figure A.I. 2 : URL de gestionnaire de cartes*

- Ensuite il faut aller dans le gestionnaire de cartes : **Outils > Type de carte > Gestionnaire de carte**

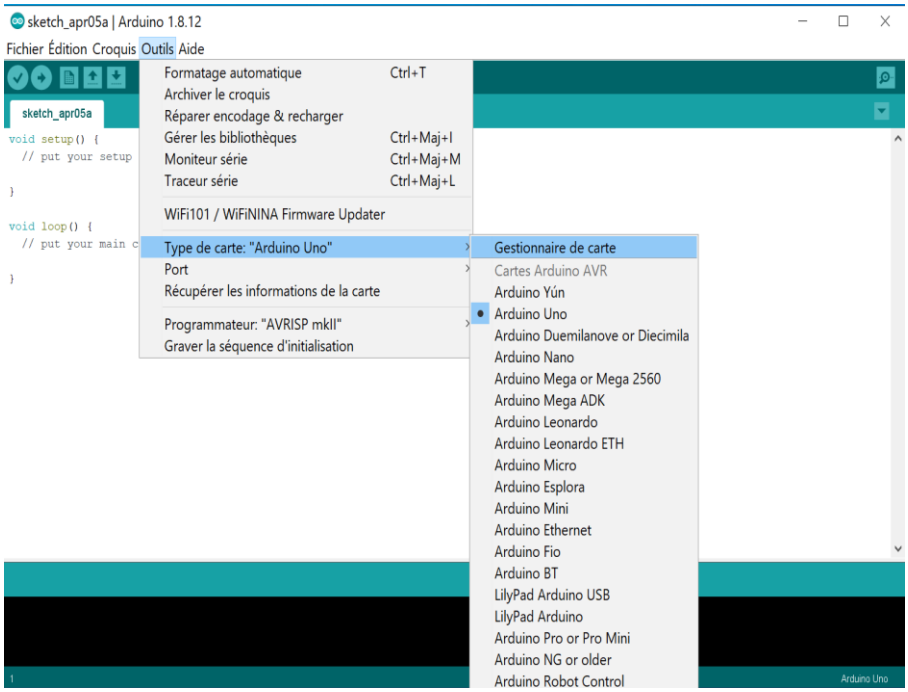



*Figure A.I. 3 : Gestionnaire de carte*

Descendre tout en bas jusqu'à trouver esp32, et cliquer sur installer. Une fois que le téléchargement et l'installation est terminée, les outils sont prêts à être utilisés.

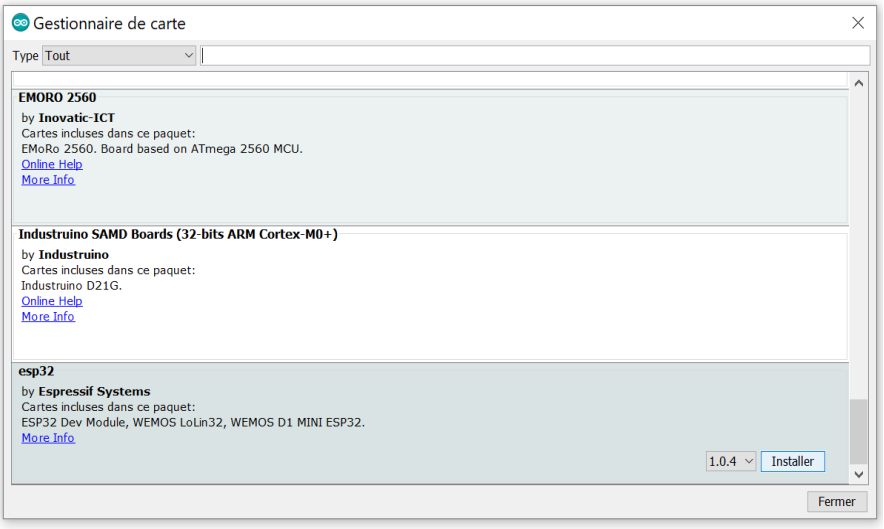



*Figure A.I. 4 : Configuration de l'IDE Arduino pour ESP32 (étape 4).*

Les cartes ESP32 ont été rajoutées dans le gestionnaire de carte :

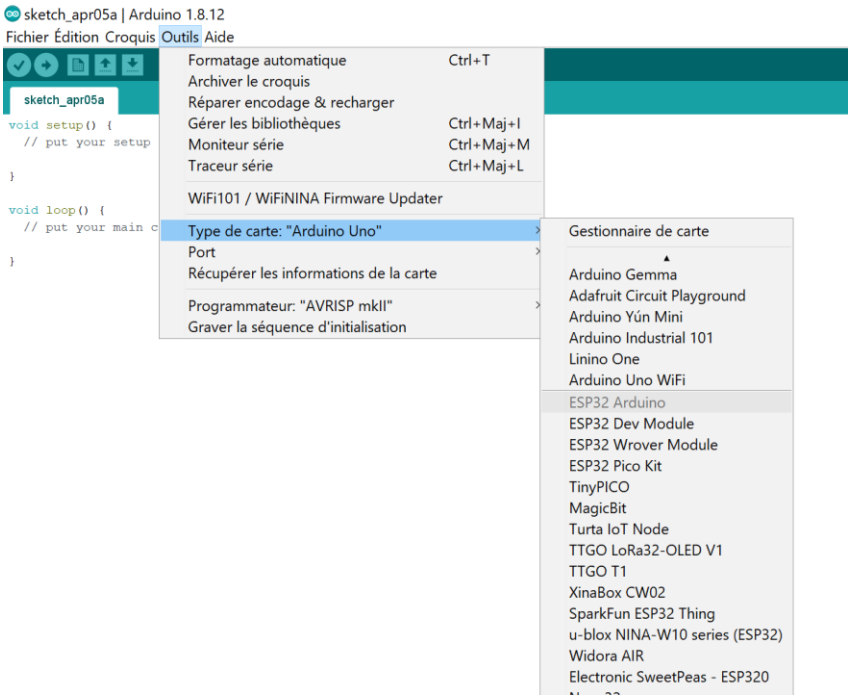



*Figure A.I. 5 : Configuration de l'IDE Arduino pour ESP32 (étape 5).*

Si vous avez la carte **uPesy ESP32 WroomDevKit** ou une autre carte ESP32, vous pouvez choisir comme carte **« ESP32 Dev Module »** ou **« DOIT ESP32 DEVKIT V1 »**. Par contre, pour pouvoir utiliser la RAM supplémentaire de la carte **uPesy ESP32 WroverDevkit**, il faut choisir une carte compatible, comme la carte **« ESP32 Wrover Module »** [40].

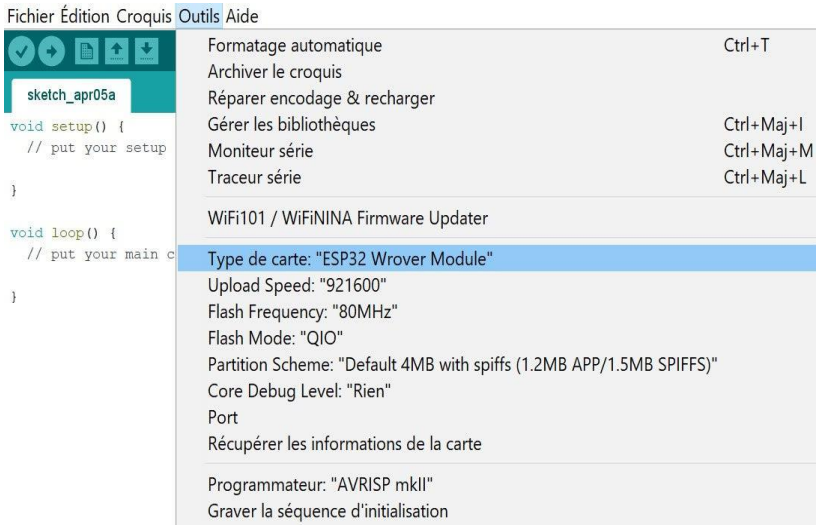



*Figure A.I. 6 : Configuration de l'IDE Arduino pour ESP32 (étape 6).*

L'installation est maintenant terminée, vous pouvez maintenant programmer votre carte ESP32 comme une carte Arduino classique [41]. Des exemples sont disponibles entres autres pour le Wifi et le Bluetooth dans : **Fichier > Exemples**

# ANNEXE II : PRESENTATION DE L'INTERFACE DE NODE-RED

## I. INTERFACE DE DEVELOPPEMENT :

On accède à l'interface de développement par un navigateur en utilisantl'URL:http://127.0.0.1:1880 comme l'indique Node-Red dans le terminal présenté dans la (**Figure 7**) [40] [41] [42].

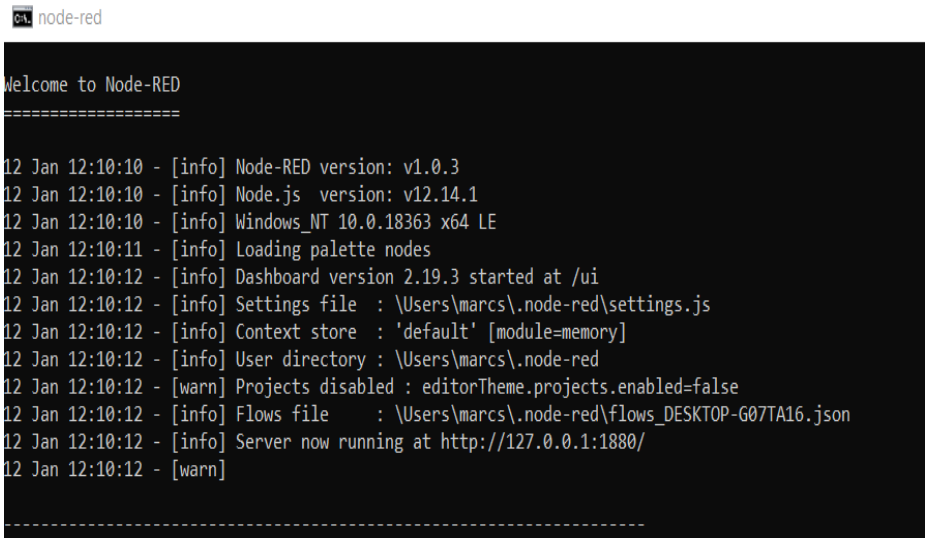



*Figure A.II. 1 : Interface de développement.*

L'interface de développement du Node-Red est de la forme suivante :

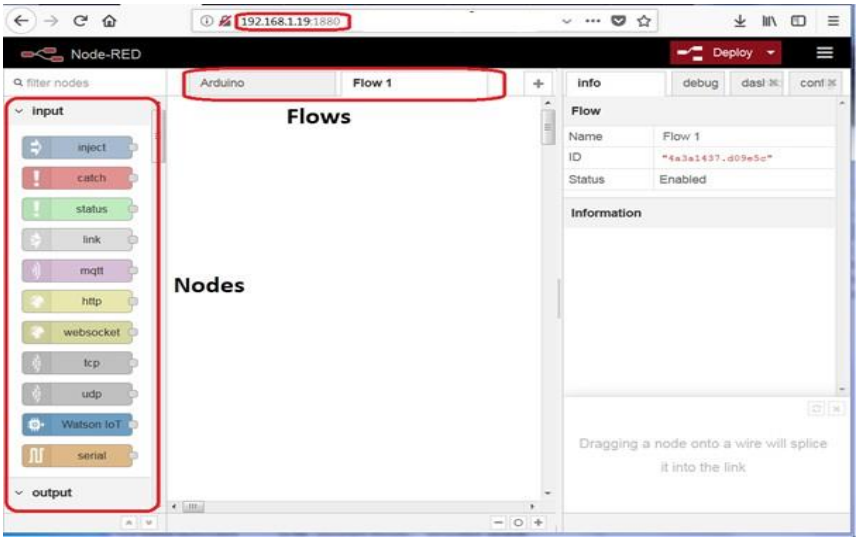



*Figure A.II. 2 : IHM de Node-Red.*

Ajout d'une catégorie de Nodes à la palette :

La palette de Nodes d'origine est déjà bien fournie mais ilman qu'au moins une catégorie essentielle qui va permettre de réaliser l'interface web. Elle se nomme Dashboard. Dans le menu, cliquez sur ManagePalette puis recherchez la catégorie de Nodes à installer. Une nouvelle catégorie estensuite disponible:

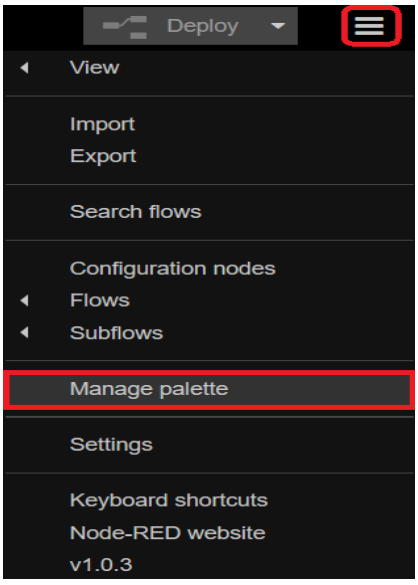



*Figure A.II. 3 : IHM de Node-Red.*

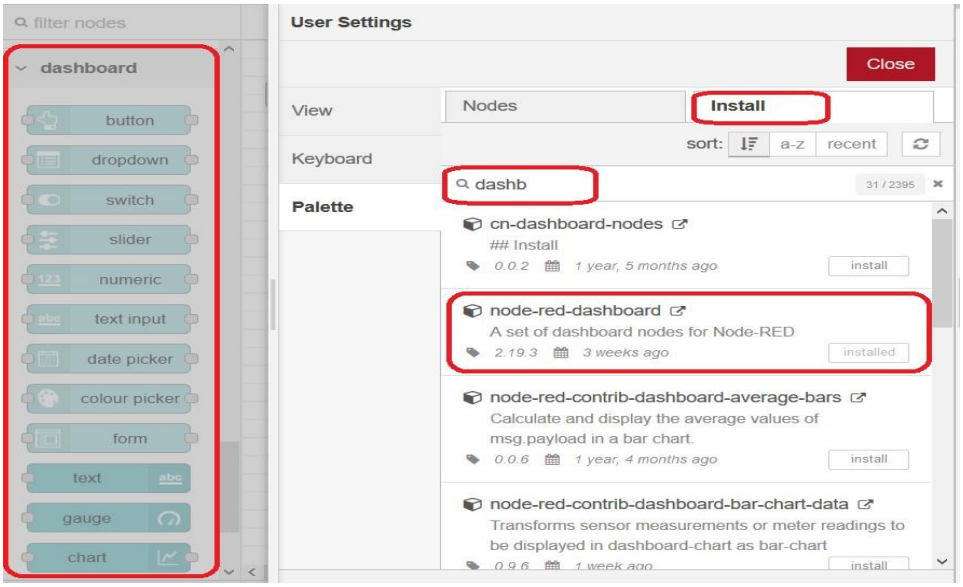



*Figure A.II. 4 : Ajout de la catégorie Dash board à la Palette.*

# II. PRINCIPE DE LA PROGRAMMATION :

La programmation consiste à glisser déplacer les Nodes sur le flow et à les relier entre eux. Les données échangées son des objets JSON et doivent posséder la propriété payload (charge utile). Le payload peut être un nombre, une chaine de caractères ou un objet JSON [42].

## II.1. Exemple su Node-Red :

Commençons par réaliser un flow très simple composé de:

- UnSlider
- UneGauge.

Pour modifier la configuration par défaut des Nodes, il suffit de double cliquer dessus. Pour que ces composants soient bien disposés sur la page web, il faut les

mettre dans un Tab, puis dans un **Groupe**:Dans la boite des élection du **groupe**, cliquez sur **Addnewui_group**,

- Créer un **groupe** (ici:"**Legroupe**") et faite de même pour le **Tab** (ici:"**Test**").
- Cliquez ensuite sur le bouton Done, puis déployer le **flow** en cliquant sur le bouton **Deploy**.
- On accède au site web généré par l'url: http://127.0.0.1:1880/ui

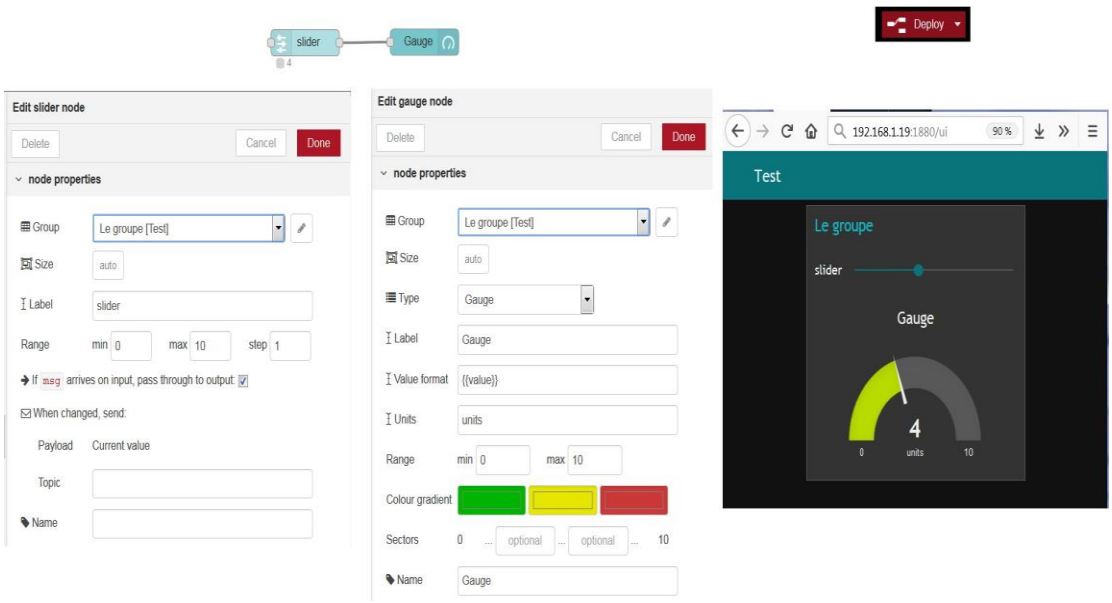



*Figure A.II. 5 : Jauge pilotée par un slider.*

- Actionnez le **Slider** et constatez l'action sur la jauge (**Gauge**).
- Modifiez le **flow** en ajoutant un Node **Numeric**, déployez et constatez le résultat:

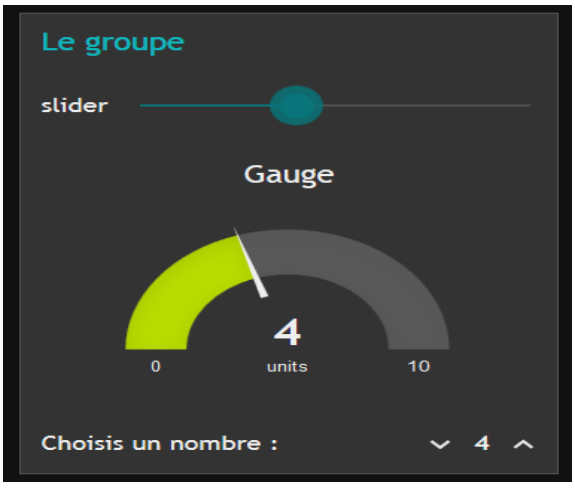



*Figure A.II. 6 : Ajout d'un No de Numérique.*

➢ Pour conserver un historique des valeurs affichées, on peut utiliser un **NodeChart**:

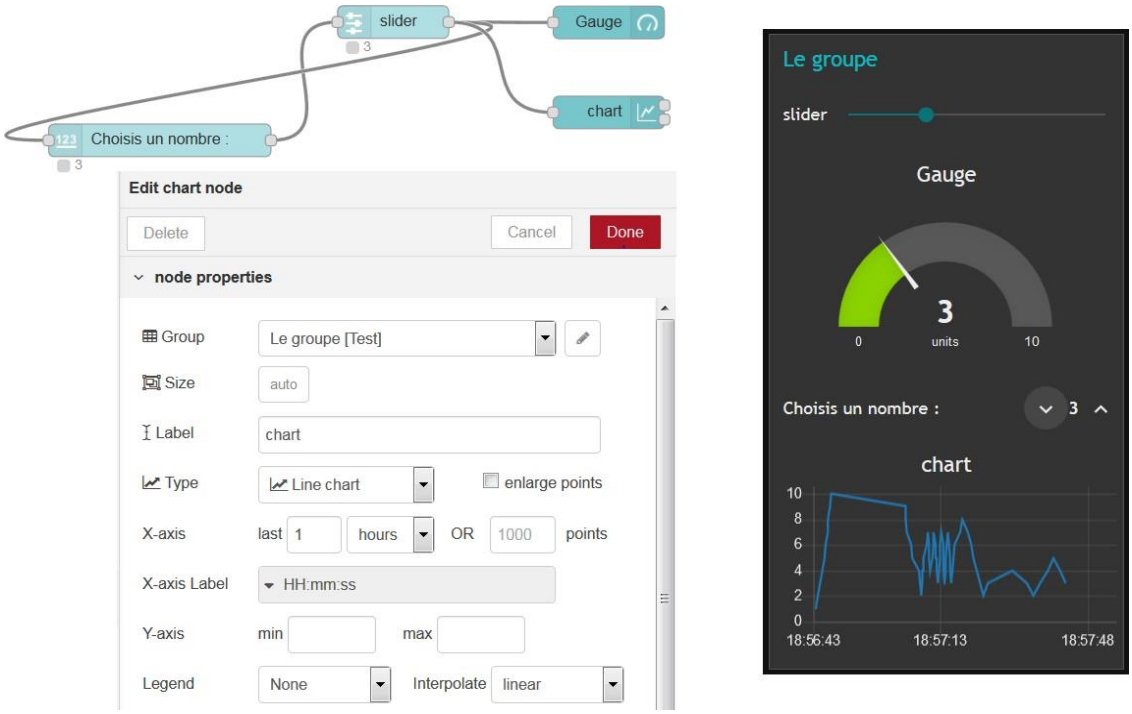



*Figure A.II. 7 : Ajout d'un Node Chart pour obtenir un graph de l'historique.*

Nous allons maintenant rajouter une information textuelle en bas du **groupe**. Cette information contiendra par exemple la valeur du **slider**, la **date et l'heure** de modification.

➢ Ajoutez un **NodeText** qui permet d'ajouter un **label** et le contenu d'un message (**value**).

Si on se contente de connecter la sortie du NodeSlider à l'entrée du Node Text, on pourra écrire :

```
Label="Valeur = "

Value Format="{{msg.payload}}"
```

Ce n'est pas suffisant dans notre cas! Nous devrons ajouter une fonction pour fabriquer notre message.

➢ Intercalez un **NodeFunction** pour insérer la date dans le message à afficher.
➢ Modifiez la propriété **label** du **NodeText**:"**Valeurle**"

Le **NodeFunction** permet d'effectuer n'importe quel traitement sur le fluxentrant pour fabriquer un ou plusieurs fluxsortants. Le langage utilisé est **JavaScript** :

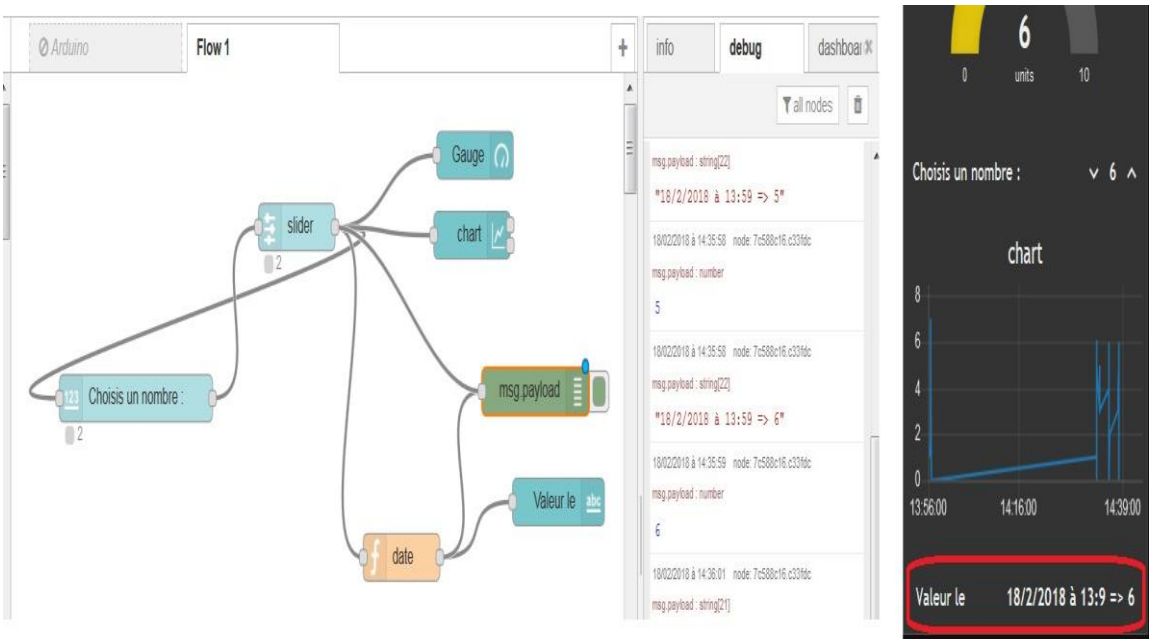



*Figure A.II. 8 : Ajout du Node Text et De bug.*

- Déployez observez le résultat.

**Noter:** Les messages transmis dans les flux d'entrée et desortie des Nodes sont des objets. C'est l'attribut **Payload**, soit **"charge utile"** en français qui contient l'information à transmettre. Pour observer cette charge utile de message vous pouvez utiliser un **NodeDebug**.

## II.2. Utilisation du mosquitto comme broker

Pour lancer mosquitto (installé au pc) sur invite de commande :

- Ouvrir cmd entant qu'administrateur
  Taper ensuite la commande **net start mosquitto,** mosquitto se lance automatiquement.

- Taper **net stop mosquito** si l'on veut stopper

Pour utiliser mosquitto en tant que serveur (broker) on suit les étapes suivantes :

Taper l'adresse IP (dans le programme esp32) de la machine dont on a installé mosquitto , plus exactement dans le MQTT_server : **const char* mqtt_server = "192.168.1.149"**

Dans node-red configurer le node mqtt-in en **localhost** avec comme port 1883

**Schéma démonstratif :**

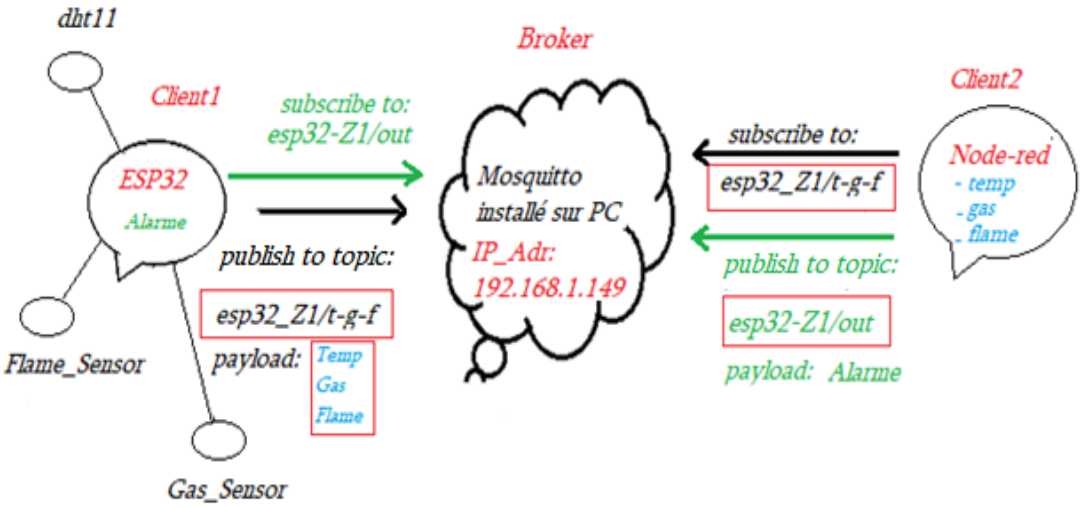



*Figure A.II. 9 : III.4. Utilisation du mosquitto comme broker.*

# ANNEXE III : PROGRAMME D'APPLICATION (IDE ARDUINO)

**Zone 1 :**

Les trois zones possèdent mêmes principe de programme :

```
#ifdef ESP8266
#include <ESP8266WiFi.h>
#elif defined(ESP32)
#include <WiFi.h>
#else
#error "Board not found"
#endif

#include <PubSubClient.h>
#include <DHT.h>

//Relays for switching appliances
#define Relay1            23

//DHT11 for reading temperature and humidity value
#define DHTPIN            4

#define DHTTYPE DHT11     // DHT 11

DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE);
```

```
// Update these with values suitable for your network.
const char* ssid ="iPhone 13 Pro Max";     //"AndroidAP"  "TP-LINK-ZM"
const char* password = "0559586030";          // "mahfoud mahfoud" "mahfoud65"
//MQTT broker
const char* mqtt_server = "broker.hivemq.com";  //192.168.1.149  broker.hivemq.com test.mosquitto.com
```

```
#define sub1 "device1/relay1"
char str_hum_data[10];
char str_temp_data[10];
char str_gas_data[10];
char str_flame_data[10];

WiFiClient espClient;
PubSubClient client(espClient);

const int Gas_analog_Pin = 34;
int GasSensorAnalog ;
int ValDigitalGas;
const int FlameAnalogPin = 36;
int analogFlameVal;
unsigned long lastMsg = 0;
#define MSG_BUFFER_SIZE  (50)
char msg[MSG_BUFFER_SIZE];
int value = 0;
```

```
48 void setup_wifi() {
49   delay(10);
50   // We start by connecting to a WiFi network
51   Serial.println();
52   Serial.print("Connecting to ");
53   Serial.println(ssid);
54   WiFi.mode(WIFI_STA);
55   WiFi.begin(ssid, password);
56   while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
57     delay(500);
58     Serial.print(".");
59   }
60   randomSeed(micros());
61   Serial.println("");
62   Serial.println("WiFi connected");
63   Serial.println("IP address: ");
64   Serial.println(WiFi.localIP());
65 }
```

```
67 void callback(char* topic, byte* payload, unsigned int length) {
68   Serial.print("Message arrived [");
69   Serial.print(topic);
70   Serial.print("] ");
71
72   if (strstr(topic, sub1)) {
73       for (int i = 0; i < length; i++) {
74         Serial.print((char)payload[i]);
75       }
76       Serial.println();
77       // Switch on the LED if an 1 was received as first character
78       if ((char)payload[0] == '1') {
79         digitalWrite(Relay1, HIGH);   // Turn the LED on (Note that LOW is the voltage level
80         // but actually the LED is on; this is because
81         // it is active low on the ESP-01)
82       } else {
83         digitalWrite(Relay1, LOW);  // Turn the LED off by making the voltage HIGH
84       }
85   }
86   else {
```