الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE YAHIA FARES DE MEDEA

جامعة يحيى فارس - المدية

Faculté de Technologie

Département du Génie Electrique

Mémoire de fin d'études de Master en

Filière : Automatique

Spécialité : Automatique et système

Système intelligent de Collecte Des déchets urbains solides à base d'IOT

Présenté par :

MEKATEL Nadia

BOUSSAHOUA Fatma

Proposé et Dirigé par :

Mme. BEN SARI Lamia

Pr. BOUHEDDA Mounir

Promotion 2025

Mémoire préparé au sein du Laboratoire des Systèmes Électroniques Avancés (LSEA) de l'Université de Médéa

REMERCIEMENT

On tient tout d'abord à remercier en premier lieu Allah, le tout puissant, de nous avoir donné autant de courage, de patience et de volonté pour atteindre ce but.

On tient à exprimer à notre promotrice Mme. BEN SARI Lamia, et notre Co-encadreur Pr. BOUHEDDA MAOUNIR nos reconnaissances pour avoir accepté de diriger ce mémoire et de sa patiente durant la période de l'encadrement.

Tous nos remerciements vont également aux membres de jury pour nous avoir fait l'honneur de juger ce modeste travail.

Nos remerciements vont également à toutes les personnes qui nous ont aidés et soutenue de près ou de loin dans la réalisation de ce travail.

الاهداء

من قال أنا لها .... نالها

وأنا لها وإن أبت رغماً عنها أتيت بها

الحمد الله حباً وشكراً وامتنان على البدء والختام

(وَآخِرُ دَعْوَاهُمْ أَنِ الْحَمْدُ لِلَّهِ رَبِّ الْعَالَمِينَ)

الى من علمني أن النجاح لا يأتي إلا بالصبر و الإصرار، الى النور الذي أنار دربي والسراج الذي لا ينطفئ نوره بقلبي أبداً، من بذل الغالي والنفيس واستمديت منه قوتي واعتزازي بذاتي

(والدي العزيز)

الى من جعل الله الجنة تحت أقدامها وسهلت لي الشدائد بدعائها، الى الانسانة العظيمة التي طالما تمنيت أن تقر عينها برؤيتي في يوم كهذا

) والدتي الحبيبة)

الى ضلعي الثابت وأمان أيامي، الى من شددت عضدي بهم فكانوا لي ينابيع أرتوي منها، الى خيرة أيامي وصفوتها الى قرة عيني، أخي وأختي الغاليين

الى الجندي الذي لطالما كان معطاء كريماً داعماً وسنداً لي منذ طفولتي...(خالي)

لكل من كان عوناً وسنداً في هذا الطريق ... للأصدقاء الأوفياء ورفقاء السنين وأصحاب الشدائد والأزمات، الى من أفاضني بمشاعره ونصائحه المخلصة إليكم عائلتي

أهديكم هذا الإنجاز وثمرة نجاحي الذي لطالما تمنيته، ها أنا اليوم أتممت أول ثمراته بفضل من الله عز وجل، فالحمد لله على ما وهبني، وأن يعينني ويجعلني مباركة أينما كنت.

Nadia

الإهداء

بسم الله ابتدأت في هذه المسيرة الحافلة بالإنجاز والمليئة بالتعب والعطاء وبرحمته تيسرت الأمور و الحمد لله على نعمة التمام، ها أنا الآن أقول بكل فخر من قال أنا لها " نالها " لم تنتهي محطات النجاح بعد ولن نتوقف عن السعي بل اجتزنا أحد مراحل السعي التي وضعت لنا

أهدي نجاحي هذا إلى من علمني العطاء دون انتظار، إلى من جمل أسمي باسمه بكل افتخار، من دعمني بلا حدود، إلى من علمني أن الدنيا كفاح وسلاحها العلم والمعرفة، حبيب قلبي وسندي وقوتي وملاذي بعد الله

... أبي الغالي " أدامك الله لي "

وإلى من جعل الله الجنة تحت أقدامها ومن كانت تجاهد معي بحب وعزيمة صعوبة الأيام، وتعطيني الحب دون توقف، واحتضنتني بقلبها قبل يديها وسهلت لي الشدائد بدعائها الدائم لي، إلى القلب الحنون والشمعة التي كانت لي في الليالي المظلمة، سر قوتي ونجاحي وجنتي وحبيبة قلبي " أمي الحنونة "حفظها الله ...

."وإلى من شد الله بهم عضدي فكانوا خير معين لي " اختي وأخي

. .وإلى كل من ساعدني، وكان له دور في إتمام هذه الدراسة، سائلة المولى أن يجزي الجميع خير الجزاء

Fatima

ملخص: تُعدّ النفايات الحضرية إحدى أبرز مشاكل النظافة الحضرية في كلٍّ من الدول المتقدمة والنامية مثل الجزائر. تهدف هذه الدراسة إلى اقتراح حلٍّ قائم على إنترنت الأشياء لمشكلة جمع النفايات الحضرية. طُبّق نظامٌ قائمٌ على الشبكة اللاسلكية لجمع معدلات ملء مدافن النفايات. استُخدمت خوارزميات ذكية لاختيار نقاط التجميع بناءً على ثلاثة معايير: سعة شاحنات الجمع، وأولوية مدافن النفايات، وتقليل مسارات التجميع. طُوّرت واجهة تفاعلية بين الإنسان والآلة للمراقبة الفورية لمعدلات ملء مدافن النفايات وحركة الشاحنات.

الكلمات المفتاحية: إنترنت الأشياء، نود راد ، جمع النفايات الحضرية.

Abstract : Urban waste is one of the serious urban cleanliness problems in both developed and developing countries such as Algeria. This study aims to propose an IoT-based solution to the general problem of urban waste collection. A Wireless network-based system is implemented to collect landfill point fill rates. Intelligent algorithms are used to select collection points based on three criteria : collection truck capacity, landfill point priority, and collection route minimization. A human-machine interface (HMI) is developed for real-time monitoring of landfill point fill rates and truck movements.

Keywords : IoT, Node-RED, urban waste collection.

Résumé : Les déchets urbains parmi les sérieux problèmes de propreté urbaine dans les pays développé et les pays en voie de développement comme l'Algérie. Cette étude a pour but de proposer une solution au problème général de la collecte des déchets urbains à base d'IoT. Un système à base de réseau sans fils est mis en place pour la collecte des taux de remplissage des points de décharge. Des algorithmes intelligents sont utilisés pour le choix des points de collectes selon trois critères : capacité des camions de collecte, priorité des points de décharge et minimisation du chemin de collecte. Une interface homme machine (IHM) est réalisé pour la supervision en temps réel des taux de points de décharge et le déplacement des camions.

Mots clés : IoT, Node-RED, collecte de déchets urbains.

Table des figures

Chapitre I : Généralités et la gestion du collecte des déchets urbains

Figure I-1: Schéma de la classification des déchets.....5

Chapitre II : softwares et matériels utilisés

La figure II-1 : l'interface du logiciel Arduino.....15
La Figure II-2 : l'espace de travail du logiciel Arduino.....16
La Figure II-3 : Interface Node-RED.....18
Figure II-4 : Domaine d'application l'IOT.....22
Figure II-5 : carte Arduino Méga.....24
La Figure : II-6 Module wifi ESP8266.....26
La Figure II-7 : Brochage du module WIFI ESP8266.....27
La Figure II-8 : Montage Arduino + ESP8266.....28
La figure II-9 : Carte de développement ESP32.....28
La figure II.10 : Le brochage de la carte Esp32.....29
Figure II-11 : Protocole MQTT Simplifie.....32
Figure II-12 logo EMQ.....35
Figure II-13 Exemple Topic MQTT.....35
Figure II-14 : Module d'alimentation 3,3 V/5 V.....36
Figure II-15 : câble d'alimentation AC/DC 12V1A adaptateur.....37

Chapitre III : Réalisation pratique

Figure III-1 : schéma globale.....37
Figure III-2 : schéma d'un client.....38
Figure III-3 : la réalisation de notre système.....39
Figure III-4 : la dernière valeur de poids des poubelles.....41
Figure III-5 : gauge de " poids d'une poubelle ".....42
Figure III-6 : la fonction de mesurer des poids des poubelles.....43
Figure III-7 : Configuration du nœud MQTT out.....44
Figure III-8 : nœud écrire le fichier.....44

Figure III-9 : Dashboard ‘gauge ‘, ‘chart’, ‘text’.....45
Figure III-10 : fichier Excel(historique).....46
Figure III-11 : réalisation de esp32 dans la chambre de contrôle.....48

SOMMAIRE

Chapitre I : Généralités et la gestion du collecte des déchets urbains

I.1 INTROCUDTION.....1
I.2 GENERALITES SUR LES DECHETS.....1
I.2.1 Définition du déchet.....1
I.2.2 Définition des déchets urbains solides.....1
I.2.3 Classification des déchets :.....2
I.2.3.1 Selon la nature :.....2
I.2.3.2 Selon leur origine :.....2
I.2.3.3 Selon leur danger :.....3
I.2.3.4 Selon la législation Algérienne :.....4
I.2.4 Caractérisation des déchets solides urbains :.....6
I.2.4.1 Composition des déchets :.....6
I.2.4.2 Propriétés physico-chimiques des déchets solides urbains :.....6
I.3 COLLECTE.....7
I.3.1 Types de collecte :.....7
I.3.1.1 Collecte en mélange :.....7
I.3.1.2 Collecte sélective :.....7
I.3.2 Modes de collecte.....8
I.3.2.1 Collecte porte-à-porte.....8
I.3.2.2 Collecte par apport volontaire :.....8
I.3.3 Les moyens de collecte et transport :.....8
1.3.3.1. Poubelles :.....8
1.3.3.2 Les charrettes (hippomobiles) :.....9
I.3.3.3 Les camions :.....9
1.3.4. Centre de collecte :.....9
1.3.5. Déchetterie :.....9
1.3.6. Stations de transfert :.....9
I.3.7 Risques liés aux déchets solides.....9
I.4 LA GESTION DES DECHETS.....10
I.4.1 Définition de la gestion des déchets :.....10

I.4.2 Les méthodes de la gestion des déchets..... 11
I.4.2.1 Pré-collecte..... 11
I.4.2.2 Collecte..... 11
I.4.2.3 Tri..... 11
I.3.2.4 Valorisation..... 11
I.3.2.5 Elimination..... 11
I.3.2.6 Enfouissement technique..... 12
I.3.3 Acteurs de la gestion..... 12
I.3.3.1 Secteur public..... 12
I.3.3.2 Secteur privée..... 12
I.3.3.3 Secteur informel..... 12
I.3.4 Le problème de gestion..... 12
I.3.5 La production des déchets..... 13
I.5 CONCLUSION..... 14

Chapitre II : softwares et matériels utilisés

II.1 INTRODUCTION..... 15
II.2 LOGICIELS..... 15
II.2.1 Logiciel Arduino..... 15
II.2.1.1 Description..... 15
II.2.1.2 Langage Arduino..... 17
II.2.1.3 La syntaxe du langage..... 17
II.2.2 Node-RED..... 17
II.2.2.1 Définition..... 17
II.2.2.2 Historique..... 17
II.2.2.3 Présentation de Node-Red..... 18
II.2.3 **INTERNET DES OBJETS**..... 19
II. 2.3.1 Présentation de l'Internet des objets..... 19
II.2.3.3 Définitions..... 20
II.2.3.4 Objet connecté..... 20
II.2.3.5 Architecture de l'IoT..... 20
II.2.3.6 Domaine d'application l'IOT..... 21
II.2.3.7 Exemples d'applications..... 22
II.2.3.8 Objectif d'IoT..... 23
II.3 MATERIELS..... 23

II.3.1 Carte Arduino..... 23
II.3.1.1 Définition..... 23
II.3.1.2 les composants d'une carte Arduino..... 23
II.3.1.3 Carte Arduino Méga..... 24
II.3.1.3.1 Spécifications techniques de la carte Arduino Méga (ADK)..... 25
II.3.1.3.2 Alimentation de la carte Arduino Méga (ADK)..... 25
II.3.2 Module WIFI ESP8266..... 26
II.3.2.1 Définition..... 26
II.3.2.2 Brochage du module WIFIESP8266..... 27
II.3.3 Carte de développement ESP32..... 29
II.3.3.1 Les caractéristiques du module Esp32..... 29
II.3.3.2 Le brochage de la carte Esp32..... 29
II.3.1 LEDs..... 30
II.4 Protocole MQTT..... 30
II.4.1 Message Queuing Telemetry Transport..... 31
II.4.2 Mode de fonctionnement..... 32
II.4.3 Topologies MQTT..... 33
II.4.4 les avantages du protocole..... 33
II.4.5 Les composants du protocole..... 33
II.4.5.1 Client..... 33
II.4.5.2 Broker..... 34
II.4.5.3 Topic :..... 35
II.4.5.4 Utilisations de MQTT..... 35
II.5 Module d'alimentation pour protoboard 3,3 V/5 V..... 36
II.6 CONCLUSION..... 36

Chapitre III : Réalisation pratique

III.1 INTRODUCTION..... 36
III.2 REALISATION PRATIQUE..... 36
III.2.1 Besoin matériels et software..... 36
III.2.1.1 Matériels..... 36
III.2.1.2 softwares..... 36
III.2.2 Cahier de charge..... 36
III.2.3 PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT DE SYSTEME PROPOSE..... 40
III.3 Tests et validation..... 48
III.4 CONCLUSION..... 48

SOMMAIRE

conclusion générale……ii

Listes des Abréviations

3 D	3 Démensions
AND	Agence National des Déchets
API	Application Programming Interface
IBM	International Business Machine
IDE	Integrated Développement Environnent
IHM	Interface Homme Machine
IOT	Internet Of Things
IP	Internet Protocol
JS	JavaScript
JSN	JavaScript Object Notation
M2M	Machine To Machine
MCU	Microcontrôleur
OC	Objet Connecté
OCE	Objet Connecté Enrichi
SCK	Serial Cloc

INTRODUCTION GENERALE

Introduction Générale

En raison de la forte augmentation de la population et du développement économique, la production des déchets solides connaît une croissance considérable, et ne cesse d'augmenter en quantité et en qualité surtout aux milieux urbains, et les conditions de propreté en matière de gestion des déchets se dégradent de façon vertigineuse, ainsi qu'elles déversement d'ordures dans les zones publiques rendent les voisinages insalubres et peut être responsable de divers types de maladies. Cette situation est beaucoup plus préoccupante dans les pays en développement (PED) à cause notamment du retard considérable dans le domaine dû à leur manque de moyens et leur difficulté d'aborder la question avec une approche adaptée à leur contexte [1].

La gestion des déchets solides est un problème majeur d'environnement dans le monde. Ce nom est donné à un système de collecte des déchets y compris leur transport, leur élimination et leur recyclage. Elle est attribuée aux déchets produits par une activité humaine, et qui doivent être traités pour éviter leurs effets néfastes sur la santé et l'environnement. Les méthodes de gestion des déchets peuvent différées entre les pays développés, entre un environnement urbain et un environnement rural, ou entre une zone industrielle et une zone résidentielle. La gestion des déchets dans les zones métropolitaines et rurales relève de la responsabilité générale d'une municipalité, tandis que les déchets produits par les industries relèvent de leur responsabilité et sont gérés par elles-mêmes

La révolution de la communication et l'application informatique drastique sont les conséquences des progrès de l'Internet. L'Internet des objets (IoT) relie les objets physiques tels que les véhicules, les réfrigérateurs, et les thermostats à l'internet via le réseau sans fil, et les activer pour partager et coordonner les informations. L'IoT comprenne des diverses applications : le transport, les soins de santé, la

fabrication, la domotique et le réseau électrique. Cette technologie joue un rôle remarquable dans l'amélioration de la qualité de vie et la croissance de l'économie mondiale dans les villes intelligentes pour la mise en œuvre des nouveaux services et la refonte des services existants [2].

Pour notre travail, nous nous intéressons au sujet de la collecte des déchets municipaux en Algérie. L'objectif est de contribuer à un nouveau système efficace de gestion des déchets basé sur l'IoT. Nous souhaitons apporter une aide aux décideurs et aux responsables locaux sur le choix des points de collecte des déchets, ainsi que le chemin optimal des camions, cela en proposant ce système de gestion des déchets, qui permet la surveillance des poubelles, la programmation dynamique et le routage des camions de ramassage des ordures dans une ville et nous mettons en œuvre une interface pour les responsables afin de superviser la collecte. Ce système résoudra le problème de gestion des déchets et le réduira à un certain niveau afin d'éliminer les problèmes de santé et améliorer la propreté, et nous aidera à garder notre environnement propre et sain d'une manière efficace.

Notre travail de recherche est structuré autour de trois chapitres dont :

Chapitre I : permettra et de donner une idée générale sur la gestion des déchets, les étapes et les méthodes de collecte qui existent.

Chapitre II : s'intéresse particulièrement aux outils utilisés dans la réalisation (matériels et logiciels) en donnant ses définitions et leurs différentes caractéristiques.

Chapitre III : vise à réaliser le montage et trouver le chemin optimal pour le ramassage ainsi les différents résultats obtenus et l'affichage du l'interface.

Chapitre I :

Généralités et gestion de la collecte des déchets urbains

I.1 INTROCUDTION

Les déchets sont tous les résidus d'un processus de production, de transformation et déconsommation dont le propriétaire ou de le détenteur à l'obligation de se défaire ou de l'éliminer.

Ce chapitre donne une idée sur la gestion des déchets, les méthodes de collecte qui existent dans certains pays, ainsi que la modélisation de cette opération en prenant en considération certains critères [2].

I.2 GENERALITES SUR LES DECHETS

I.2.1 Définition du déchet

Un déchet est toute substance ou objet dont le détenteur se défait ou dont il a l'intention ou l'obligation de s'en défaire. La loi Algérienne n° 83-03 du ministère de l'intérieur en date du 05 février 1983, relative à la protection de l'environnement, définit les déchets comme suit :
« Un déchet est toute chose délaissée ou abandonnée par son propriétaire, suite à une opération de production, de transformation ou d'utilisation, d'une manière globale ». En France par exemple, la législation définit le déchet comme étant **"tout résidu d'un processus de production, de transformation ou d'utilisation, toute substance, matériau, produit ou plus généralement tout bien meuble que le détenteur destine à l'abandon"** .
Toutefois, il ne suffit pas qu'un objet soit à l'abandon pour être un déchet. Le déchet se caractérise aussi par sa mobilité. Une vielle maison par exemple, tant qu'elle est immobile, n'est pas un déchet, mais après sa démolition, les décombres deviennent déchets [3].

I.2.2 Définition des déchets urbains solides

Selon le décret n° 83-666 (1983) et l'ANRED (1981), les déchets solides urbains sont définis comme étant une réunion de résidus hétérogènes comprenant.

- ✓ Les ordures ménagères : qui sont par essence même, les résidus de l'activité des ménages tels que les résidus de cuisine, déchets de denrées consommables, objets brisés, balayures, emballages métalliques et plastiques, etc.
- ✓ Les résidus provenant du nettoiement des voies publiques, des places, des marchés, des établissements industriels, commerciaux et qui sont assimilables aux déchets ménagers.
- ✓ Les résidus de collectivités telles que les cantines, les écoles, les casernes, les prisons ainsi que les hôpitaux ayant un caractère ménager.

- ✓ Tout objet abandonné sur la voie publique ainsi que les cadavres des petits animaux.
- ✓ Les déchets industriels banals pouvant être traités dans les mêmes conditions et conjointement avec les ordures ménagères. Il s'agit des déchets suivants : bois, textiles divers, papiers, cartons, verres et boues pelle tables des curages d'égouts [3].

I.2.3 Classification des déchets :

L'intérêt de la classification des déchets est de faciliter leur gestion et leur traitement, plus précisément l'anticipation des modes et des moyens de collecte ainsi que leur orientation vers les filières de valorisation adaptées. De plus, sur le plan juridique, la classification permet d'apprécier la responsabilité des producteurs des déchets et l'impact de leurs activités sur l'environnement et la santé humaine.

Les déchets peuvent être classés de différentes manières selon les objectifs et selon l'intérêt des informations qui peuvent en être tirées. Ils peuvent être classés selon leur nature, leurs sources de production (origine), ou selon leurs modes de valorisation (recyclables, fermentescibles, stockables …etc.) [5].

I.2.3.1 Selon la nature :

la classification des déchets selon leur nature physique présente en trois (03) catégories :

- ➢ Déchets solides : ordures ménagères, emballages, gravats…etc.
- ➢ Déchets liquides : huiles usagés, peintures, rejet de lavage…etc.
- ➢ Déchets gazeux : biogaz, fumées d'incinération…etc [4].

I.2.3.2 Selon leur origine :

I.2.3.2.1 Déchets urbains :

Tous déchets issus des ménages, déchets de commerce et de l'industrie assimilables aux déchets ménagers, déchets encombrants, déchets verts (greffage des arbres, espaces verts), déchet de nettoyage des voies publiques, déchets hospitaliers, la collecte de ces déchets doit être assurée par les collectivités.[4]

- ❖ **Déchets urbains communaux :**

Déchets ménagers (ordures ménagères, déchets encombrants, déchets collectés sélectivement) et déchets de composition analogue produits par les entreprises qui font l'objet d'une collecte publique, ainsi que les déchets issus des administrations communales[4].

- **Déchets urbains des entreprises** :

Déchets de composition analogue aux déchets ménagers produits par les entreprises et qui font l'objet d'une collecte privée[4].

I.2.3.2.2 Déchets industriels :

évoque que l'ensemble des déchets industriels doivent être éliminés par leurs producteurs industriels, artisanats, commerçants, ils sont classés en 04 catégories :

- **Déchets industriels banals (DIB) :**

Son assimilables aux ordures ménagères et relevant du même type de traitement : il s'agit principalement d'emballages usagés, de chutes de productions industrielles et de déchet d'activités et commerciales comme ferrailles, métaux non ferreux, papiers-cartons, verre, textiles, bois, plastiques, etc [4].

- **Déchets industriels spéciaux (DIS) :**

Ce type de déchets comprenant des substances toxiques qui nécessitent une collecte et un traitement particulier comme les mâchefers, les aérosols, produits de jardinage, produits de bricolage, thermomètre au mercure[4].

- **Déchets inertes (DI) :**

Composés déblais, gravats, matériaux de démolition produit par les entreprises de travaux publics.[4]

- **Déchets agricoles :**

L'activité agricole peut générer trois (**03**) types de déchet :

- Des résidus de l'industrie agroalimentaire.
- Des déchets de cultures.
- Des déjections animales de l'élevage[4].

I.2.3.3 Selon leur danger :

- **Déchets dangereux :**

Le déchet dangereux est défini comme un déchet qui présente une ou plusieurs des propriétés de dangers énumérées. Ce sont des déchets qui contiennent en quantités variables des éléments toxiques pour la santé humaine et/ou l'environnement. Cette qualité ne présume pas de leur origine, qui peut être domestique, industrielle ou agricole[4].

- **Déchets non dangereux :**

Les déchets non dangereux sont définis par défaut par rapport aux précédents comme étant ceux qui ne présentent aucune des propriétés qui rendent un déchet dangereux[4].

- **Biodéchets :**

Au sein des déchets non dangereux, cette nouvelle catégorie a été récemment définie : « tout déchet non dangereux biodégradable de jardin ou de parc, tout déchet non dangereux alimentaire ou de cuisine issue notamment des ménages, des restaurants, des traiteurs ou des magasins de vente au détail, ainsi que tout déchet comparable provenant des établissements de production ou de transformation de denrées alimentaires » [4].

- **Déchets dits « inertes » :**

Les déchets dits « inertes » font partie des déchets non dangereux, mais sont classés séparément et définis par la négative : ne brûlent pas, ne se décomposent pas, ne produisent aucune réaction ni chimique ni physique, ne sont pas biodégradables et ne détériorent pas les matières avec lesquelles ils entrent en contact d'une manière susceptible d'entraîner des atteintes à l'environnement ou à la santé humaine. Il s'agit presque exclusivement de déchets minéraux, issus essentiellement du secteur du BTP. Mais attention : tous les minéraux ne sont pas inertes « ! » À noter aussi qu'un déchet non dangereux n'est pas nécessairement inerte[4].

I.2.3.4 Selon la législation Algérienne :

La **loi N° 01-19** du 12 décembre 2001 relative à la gestion, au contrôle et à l'élimination des déchets arrêtent les définitions de six grandes familles de déchets (Annexe 1), qui sont :

- **Déchets ménagers et assimilés (DMA).**
- **Déchets encombrants.**
- **Déchets spéciaux (DS).**
- **Déchets spéciaux dangereux (DSD).**
- **Déchets d'activité de soin (DAS).**
- **Déchets inertes (DI).**
- **Déchets radioactifs :**

Ainsi, **le décret présidentiel N° 05-119** du 11/04/2005 relatif à la gestion des déchets radioactifs a mis en évidence la notion des déchets radioactifs qui représentent les matières contenant ou contaminée par des radioéléments à des concentrations ou activités supérieures aux limites d'exemption et pour laquelle aucune utilisation n'est prévue[4].

- **Déchets ultimes :**

La réglementation algérienne n'a pas traité les déchets ultimes. Selon la réglementation française les déchets ultimes sont les déchets résultants ou non du traitement d'un déchet et qui n'est plus susceptible d'être traité dans les conditions techniques et économique du moment, notamment par extraction de la part valorisable ou par réduction de son caractère polluant et dangereux, cette définition est par nature, instable dans le temps .

Pour le déchet ultime du futur ce n'est plus celui d'aujourd'hui, car la notion de déchet ultime évoluera selon le progrès des procédées de traitement des déchets [4].

Figure I-1: Schéma de la classification des déchets

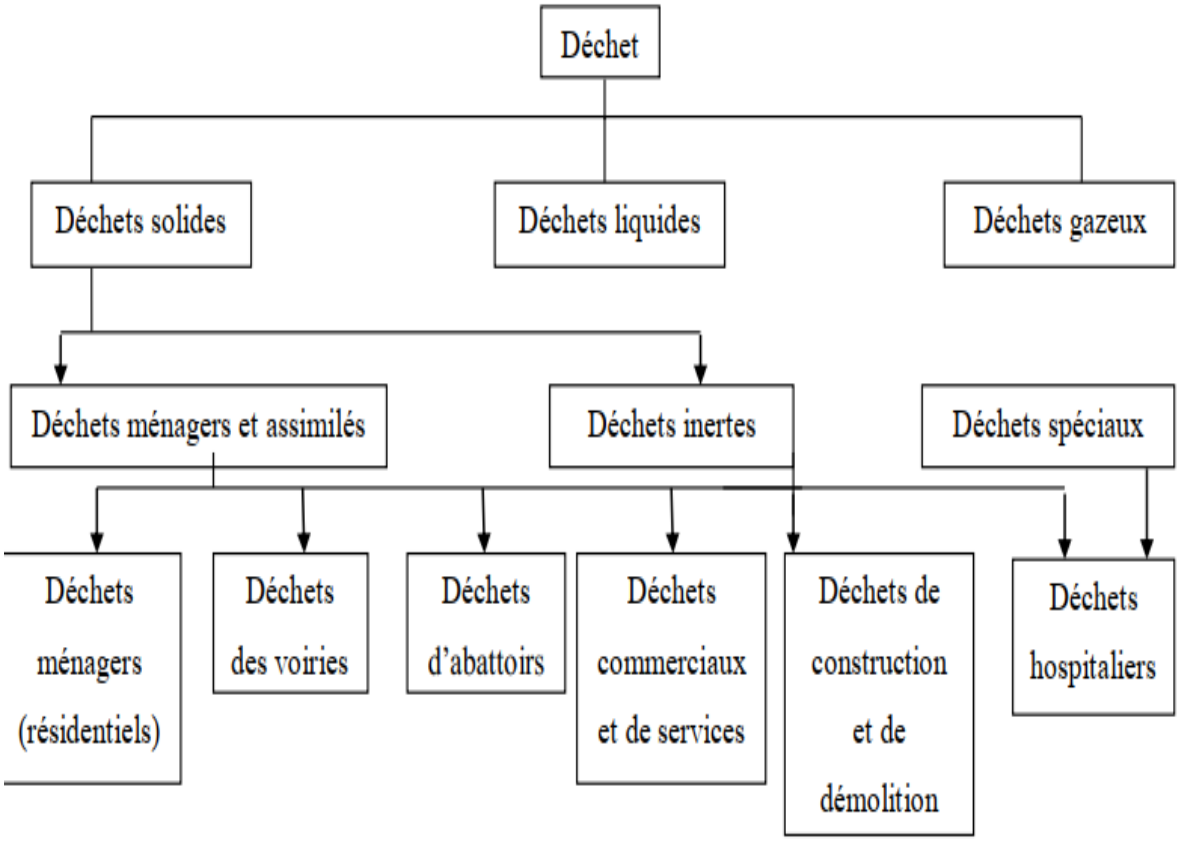


Figure I-1: Schéma de la classification des déchets

I.2.4 Caractérisation des déchets solides urbains :

I.2.4.1 Composition des déchets :

Les déchets solides urbains sont constitués principalement de putrescibles, plastiques, papier, verre, métaux, restes de vêtements, ameublement, et de déchets de jardin, cadavres d'animaux, déchets de travaux de construction…etc.

La partie organique fermentescible, représentent plus de **60%** de la masse totale des déchets[4].

Tableau I-1 **:** Composition des déchets en Algérie.

Types des déchets	**Pourcentage**
Organiques	62.1
Papier/carton	9.4
Plastiques	12
Métaux	1.4
Verre	1.6
Autres	13.5

Tableau I-1 : Composition des déchets en Algérie [4].

I.2.4.2 Propriétés physico-chimiques des déchets solides urbains :

On caractérise les déchets par quatre (**04**) paramètres essentiels : la densité, le degré d'humidité, le pouvoir calorifique, le rapport des teneurs en carbone et azote (C/N) [5].

- **Densité :**

La connaissance de la densité est d'une grande importance pour le choix des moyens de collecte et de stockage. Toutefois comme les déchets sont compressibles, la densité n'a un sens que si on définit les conditions dans lesquelles on la détermine. C'est pourquoi on peut avoir une densité en poubelle, une densité en benne, une densité en décharge, une densité en fosse, etc. La densité en poubelle est mesurée en remplissant les ordures fraîches dans un récipient de capacité connue sans tassement [5].

- **Degré d'humidité :**

Les ordures renferment une suffisante quantité d'eau variant en fonction des saisons et le milieu environnemental. Cette eau à un grade influence sur la rapidité de la décomposition des matières qu'elles renferment et sur le pouvoir calorifique des déchets [4].

- **Pouvoir calorifique :**

Le pouvoir calorifique est défini comme la quantité de chaleur dégagée par la combustion de l'unité de poids en ordures brutes. Il s'exprime en kilojoules par kilogramme d'ordures (**kJ/kg**) ou en kilocalories par kilogramme (**kcal/kg**) ou en thermies par tonne (**th/t**) [4].

- **Rapport des teneurs en carbone et azote (C/N) :**

Le rapport (C/N) a été choisi comme critère de qualité des produits obtenus par le compostage des déchets. Il est d'une grande importance pour le traitement biologique des déchets, car l'évolution des déchets en fermentation peut être suivie par la détermination régulière de ce rapport. D'après (Tabet, 2001) les propriétés physico-chimiques des déchets urbains peuvent être décrites comme suit :

- **Densité moyenne** : **0,25** tonne par mètre cube (**tonne/m3**)
- **Teneur en eau** : **49,1%**
- **Pouvoir calorifique** : **5800** kilojoules par kilogramme (**kJ/kg**) de déchets [4].

I.3 COLLECTE

La collecte des déchets est la première opération d'extraction et d'accumulation des déchets. C'est un service qui ne nécessite pas des frais énormes et qui ne relève pas d'une grande technicité. Cependant, la mise en place d'un système de collecte des déchets doit être adaptée aux paramètres urbains de la zone desservie, à savoir le nombre et la concentration de la population, la typologie d'habitat, l'emplacement des marchés, magasins, institutions administratives et usines, l'accessibilité et la fluidité de la circulation…etc. Ces éléments s'avèrent nécessaires pour déterminer les circuits de collecte, les fréquences et les heures de collecte ainsi que le dimensionnement des conteneurs de déchets et leur répartition de manière appropriée.

La collecte des déchets se fait généralement selon deux principales modalités : la collecte en mélange et la collecte sélective [5].

I.3.1 Types de collecte :

I.3.1.1 Collecte en mélange :

C'est la collecte traditionnelle : sacs plastiques ou tous autres récipients (poubelles en forme de lessiveuse, cartons, petits containers, etc.) contenant des ordures non triées, ramassés à jours fixes [4].

I.3.1.2 Collecte sélective :

Mode de récupération des matières résiduelles pour en favoriser la mise en valeur. La collecte sélective procède par apport volontaire à un point de dépôt (point de vente, conteneur, déchetterie) ou de porte-à-porte ; et demande la collaboration des habitants et ainsi le recyclage de quelques articles tels que : verre, plastique, papier, métaux, etc [4].

I.3.2 Modes de collecte

I.3.2.1 Collecte porte-à-porte :

Se fait en général au moyen de camions-poubelles, qui se rendent à chaque point de production (maisons, locaux commerciaux, restaurants, etc.) de déchets déposés devant les portes et ramassés à jours fixes [4].

I.3.2.2 Collecte par apport volontaire :

C9est un mode d'organisation de la collecte dans lequel l'usager ne dispose pas d'un contenant qui lui soit affecté en propre. La collectivité met à la disposition des usagers un réseau de contenants réparti sur le territoire (déchèterie, voie publique, parking, centres commerciaux, etc.) et accessible à la population [4].

I.3.3 Les moyens de collecte et transport :

1.3.3.1. Poubelles :

La poubelle est un récipient destiné à recueillir les déchets, pour éviter leur entassement. Elle est de forme et de tailles variées, selon l'objectif esthétique. Composée d'un système d'ouverture, le plus souvent à pédale, elle est dotée d'un couvercle pour éviter la propagation des mauvaises odeurs et cacher à la vue les détritus. La poubelle se décline en différents matériaux : inox, plastique, acier, etc.

- **Poubelles d'intérieur :** se veulent à la fois pratiques et esthétiques. Dans la maison, chaque Poubelle remplit une fonction précise [4].
- **Poubelles d'extérieur :** Dans la rue, pour la propreté de l'espace public, de nombreuses Poubelles (conteneurs en surface, conteneurs enterrés, bacs roulants, etc.) sont installées et entretenues par la ville. Il existe deux types : les poubelles tout-venant et les poubelles de Tri sélectif [4].
- **Sacs-poubelle :** Est un contenant souple en plastique destiné à recueillir les déchets ménagers, pour ne pas les mélanger et ne pas salir la poubelle : la poubelle reste, le sac part à la benne. Léger, il retient les odeurs grâce à un système de fermeture et assure ainsi une bonne hygiène. On trouve des sacs-poubelle de toutes dimensions et de qualités diverses [4].

1.3.3.2 Les charrettes (hippomobiles) :

La charrette est un moyen de transport constitué d'un plateau et de deux roues ; peut être équipée d'un ou de deux brancards qui permettent à un homme, à un ou deux chevaux ou à des bSufs de la tirer. On parle de charrette à bras quand celle-ci est poussée par un homme et non pas tirée[4].

I.3.3.3 Les camions :

• **Avec benne à ordures :** un véhicule spécifiquement conçu pour la collecte et le transport mécanique des ordures ménagères et des déchets volumineux. Il s'agit d'un des principaux outils modernes au service de la collecte et du ramassage des détritus.

• **Avec benne tisseuse :** La benne équipée par un système de compactage permet d'évacuer les déchets en un seul usage, une grande quantité dans les meilleures conditions de transport.

• **Avec benne ampli roll :** L9ampliroll est conçu en adéquation avec la charge utile du camion, il dispose de son propre châssis destiné à porter le caisson par traction et levage.

• **Balayeur :** Ce camion utilisé pour balayage des routes, elle peut être aussi utilisée pour le lavage des bordures de routes [4].

1.3.4. Centre de collecte :

Une installation qui regroupe les déchets avant réexpédition vers des installations de traitement et d'élimination appropriées [4].

1.3.5. Déchetterie :

Lieu de dépôt principalement axé sur le recyclage. La déchetterie se distingue du centre de récupération en recevant non pas les matières récupérables tel qu'on l'entend généralement dans la collecte sélective, mais les déchets d'origine domestique non ramassés lors de la collecte habituelle incluant les déchets domestiques dangereux, les encombrants, les matériaux secs et autres [4].

1.3.6. Stations de transfert :

Ensemble d'installations et de moyens pour transférer les déchets d'un point à un autre plus distants : transport direct économiquement non rentable. Elles peuvent être dédiées au compactage des déchets solides avant leur acheminement vers les sites d'élimination éloignés. De petits véhicules de transport apportent les déchets vers ces stations et les transfèrent sur des véhicules plus grands qui peuvent donc assurer le transport de volumes de déchets importants sur des distances plus élevées [4].

I.3.7 Risques liés aux déchets solides

L'un des risques majeurs sur la santé humaine liés aux déchets est leur contamination microbiologique par divers agents pathogènes tels que les bactéries, les virus, les parasites et autres, ce qui infectent les êtres humains soit directement soit à travers l'eau et la nourriture.
Plusieurs microorganismes ont été identifié en nombre important dans les déchets, ces différents agents pathogènes trouvés sont d'origine humaine ou animale et peuvent provenir des déchets des animaux domestiques ou bien d'autres sources comme :

- Les aliments crus jetés.
- Déchets d'animaux et d'animaux domestiques.
- Les articles médicaux mis au rebut, tels que les pansements, les gazes contaminées, etc.
- Serviettes en papier contaminées, lingettes nasales, etc.
- Eaux usées contenant des excréments et de l'urine.
- Autres sources domestiques n'utilisant pas de systèmes d'égouts (par exemple, toilettes Extérieures, fosses, surfaces du sol).
- Déchets de soins de santé.
- Fumier sur les terres et ruissellement [2].

I.4 LA GESTION DES DECHETS

I.4.1 Définition de la gestion des déchets :

Le dictionnaire ''Larousse'' définit le terme ''gestion'' comme « Action ou Manière de gérer, d'administrer, de diriger, d'organiser quelque chose. Période pendant laquelle quelqu'un gère une affaire ». En effet, c'est l'esprit de cette définition qui est retenu dans la définition de la gestion des déchets donnée par la loi 01-19, cette dernière stipule dans son article 3 : « Toute opération relative à la collecte, au tri, au transport, au stockage, à la valorisation et à l'élimination des déchets, y compris le contrôle de toutes ces opérations ».
La gestion des déchets dans toutes ses opérations (Tri, Collecte, Transport, Valorisation, Élimination) constitue le plan de charge d'un service public, tout comme l'eau, la santé, le transport et autres. Elle vise l'intérêt supérieur de la population, la préservation de la santé publique et la protection de l'environnement. Donc la gestion des déchets est sous l'égide de l'état à travers ses organes locaux, notamment les municipalités qui se chargent de la collecte et le transport des déchets. Les municipalités délèguent parfois certaines opérations qui relèvent de la technicité industrielle comme le recyclage, a des opérateurs privés.

Le service de gestion des déchets est non seulement public, non exclusif, il est aussi non rival, dans le sens où toute la population tire parti des avantages sans pour autant diminuer l'intérêt à quelqu'un d'autre. Cependant, il est impossible d'exclure du bénéfice ceux qui ne paient pas [5].

I.4.2 Les méthodes de la gestion des déchets

I.4.2.1 Pré-collecte

C'est l'opération qui précède la collecte effective des déchets. Elle vise le rassemblement et le stockage des déchets par les habitants d'un foyer, d'un immeuble, d'une cité ou par les personnels d'une entreprise, puis les déposer dans des lieux dédiés aux déchets.

Il existe plusieurs manières en Algérie, selon le type d'habitation et l'accessibilité des équipements comme : Les caissons métalliques, poubelles individuelles, sacs en plastique perdus ou les bacs roulants [2].

I.4.2.2 Collecte

C'est une opération d'ordre public située au cœur du processus de la gestion des déchets dans le cadre de protéger la santé des populations et assurer une meilleure qualité de vie. Elle consiste à ramasser et regrouper des déchets en vue de les transférer vers un autre lieu.

Actuellement, il existe en Algérie deux méthodes d'enlèvement :

- Le porte à porte, dans lequel l'évacuation des DSM est assurée par le passage régulier du service de la collecte.
- En apport volontaire, dont le générateur transfère les DSM vers un point de regroupement et le service de collecte les transportent vers un lieu d'élimination ou de traitement [2].

I.4.2.3 Tri

C'est la séparation des déchets selon leur nature en vue de leur traitement, par exemple le papier, plastique [2].

I.3.2.4 Valorisation

C'est la réutilisation, le recyclage ou le compostage des déchets. Le recyclage est la valorisation des produits usés ou des déchets. Le compostage est un processus biologique dans lequel la transformation des déchets organiques en un produit stable et hygiénique appelé compost [2].

I.3.2.5 Elimination

Comprend plusieurs opérations ne débouchant pas sur une possibilité de valorisation ou autre utilisation du déchet parmi ces opérations : la mise en décharge, l'enfouissement (stockage des déchets en sous-sol), et l'immersion (rejet de déchets dans le milieu aquatique).

Les déchets issus de l'incinération sont ensuite éliminés en centre d'enfouissement technique[2].

I.3.2.6 Enfouissement technique

C'est l'opération de stockage des déchets en sous-sol Les déchets admis en centre d'enfouissement technique (CET) sont des déchets solides, minéraux avec un potentiel polluant, très peu réactifs et peu solubles [2].

I.3.3 Acteurs de la gestion

La gestion des déchets municipaux est organisée en trois secteurs : le secteur public, le secteur privé formel, et le secteur privé informel [2].

I.3.3.1 Secteur public

Le niveau régional, est sous la responsabilité des Inspections Régionales de l'Environnement et des Directions de l'Environnement des Wilayas (DEW*)*.

Les DEW ont pour mission de coordination, contrôle et de l'information qui permet de promouvoir des actions d'information, d'éducation et de sensibilisation en matière d'environnement, elles disposent aussi d'un pouvoir de police (des inspections, des procès-verbaux, des fermetures administratives en cas d'infraction).

Au niveau local il y a deux structures les communes et les groupements de communes qui assurent l'évacuation, le traitement, la collecte et le transport des déchets [2].

I.3.3.2 Secteur privée

Certaines communes ont procédé à la concession d'une partie de la collecte des déchets ménagers et assimilés (DMA) à des opérateurs privés car ils ne disposent pas des moyens suffisants et d'équipements appropriés. Ces opérateurs privés sont engagés dans le domaine de recyclage, la récupération des déchets, et la réutilisation des déchets triés dans la production de matière première [2].

I.3.3.3 Secteur informel

La collecte et le tri des déchets se fait par des éboueurs et des collecteurs-trieurs dans les décharges sauvages ou contrôlées. Ensuite, des acheteurs ambulants achètent ces matériaux ramassés, ainsi que des déchets recyclables collectés par des individus et ils les revendent aux industries et les exportateurs.

Ce secteur est composé d'individus, de familles et d'entreprises non enregistrées [2].

I.3.4 Le problème de gestion

L'Algérie connait une croissance des déchets urbains et industriels et une intensification de pollutions. Ils ont dénombré à proximité de 3000 décharges sauvages à cause de l'évolution des déchets et l'absence d'une politique rigoureuse, d'élimination des déchets, ainsi d'installations de traitement des déchets solides, de collecteurs et de transporteur, sur le territoire algérien [2].

La précarité de cette situation présente des risques pour l'environnement et pour la santé publique :

- Un dépôt anarchique des déchets.
- Un dégagement d'odeurs, de fumées désagréables et des gaz à effet de serre.
- Une prolifération d'insectes, de rongeurs et d'animaux errants.
- Une propagation des maladies et des épidémies.
- Une Pollution de l'atmosphère, de sol, l'eau potable et les eaux de rivières et marines de surfaces et souterraines.
- La contamination d'hectares agricoles qui sont ainsi rendus stériles de manière parfois Irréversible.
- Les décharges sauvages défigurent les paysages et l'environnement urbain et surtout Dans les régions touristiques, ou les terres complètement ravagées par les déchets de Plastiques et d'autres ordures mal récupérées.

Ce qui nous mène donc vers une détérioration irréversible de l'environnement et la vie des humains [2].

I.3.5 La production des déchets

En Algérie, les quantités de déchets produits ont évolués considérablement ainsi que leurs impacts sur l'environnement et la santé publique. Selon l'Agence National des Déchets (AND) en 2017, un volume de 13.1 millions de tonnes de déchets par année est produit en Algérie, chaque habitant produit en moyenne 0,8 kg de déchets par jour, dont 6 millions de tonnes des déchets sont traités [2].

I.5 CONCLUSION

Les systèmes de collecte des déchets urbains sont au cœur de la gestion des déchets dans les villes modernes, visant à minimiser l'impact environnemental et à garantir la salubrité publique. Le processus inclut la collecte, le tri, et le transport des déchets vers des installations de traitement ou de recyclage. Comme le soulignent plusieurs études (par exemple, Joubert, 2019), une planification efficace et la participation active des citoyens sont des facteurs déterminants pour réussir la gestion des déchets dans les zones urbaines. La transition vers une gestion durable des déchets passe par une meilleure organisation de la collecte, une réduction des déchets et un recyclage plus performant.

Chapitre II :

Logiciels et matériels utilisés

II.1 INTRODUCTION

Dans le cadre de l'optimisation collaborative de la collecte des déchets urbains à l'aide d'un Internet d'Objet, le choix des logiciels et matériels joue un rôle clé dans la performance et l'efficacité du système.

Ce chapitre présente les différentes technologies logicielles et matériels utilisées pour concevoir, développer et déployer ce système.

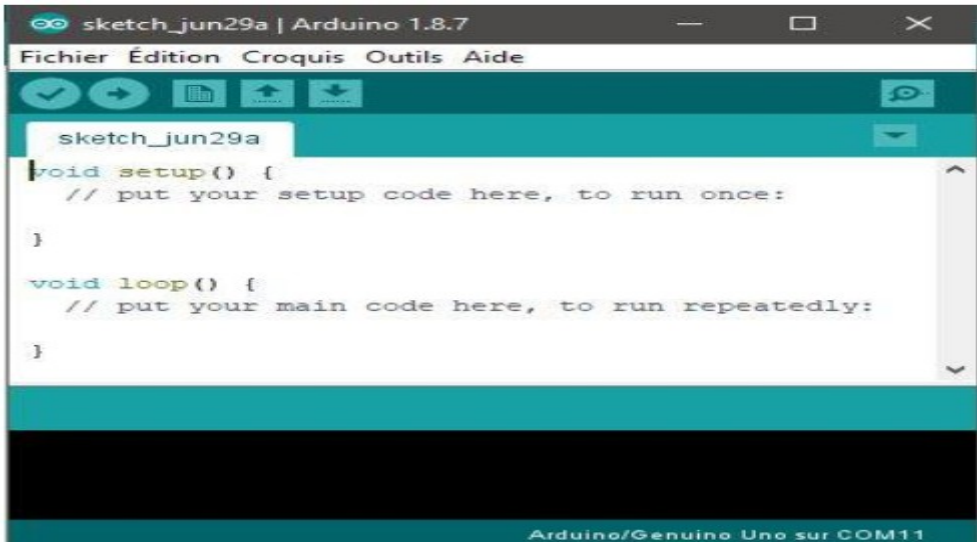
II.2 LOGICIELS

II.2.1 Logiciel Arduino

II.2.1.1 Description

L'environnement de programmation Arduino (IDE en anglais) est une application écrite en Java. L'IDE permet d'écrire, de modifier un programme et de le convertir en une série d'instructions compréhensible pour la carte. Le langage de programmation de l'Arduino étant dérivé du C et de C++, il respecte les règles de syntaxe propres à ces langages où elles restent relativement simples [6].

Le logiciel Arduino IDE fonctionne sur Mac, Windows et Linux. C'est grâce à ce logiciel que nous allons créer, tester et envoyer les programmes sur l'Arduino [2].



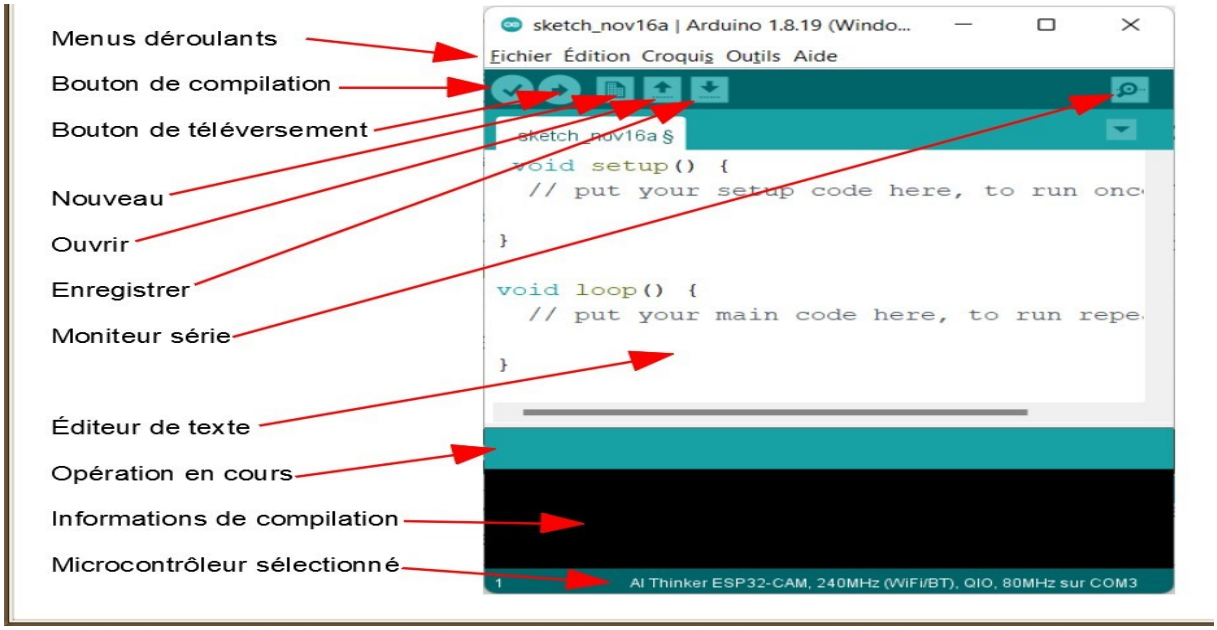
La figure II-1 : l'interface du logiciel Arduino

Le logiciel Arduino a pour fonctions principales :

- De pouvoir écrire et compiler des programmes pour la carte Arduino
- De se connecter avec la carte Arduino pour y transférer les programmes
- De communiquer avec la carte Arduino

L'interface du logiciel contient aussi une barre d'outils, une barre des boutons pour vérifier et compiler (Télé-verser), ainsi que l'espace de travail [5].

La Figure II-2 : l'espace de travail du logiciel Arduino



La Figure II-2 : l'espace de travail du logiciel Arduino

Cet espace de développement intégré (EDI) dédié au langage Arduino et à la programmation des cartes Arduino comportent :

- **Une barre de menus** : comme pour tout logiciel une interface graphique (GUI).
- **Une barre de boutons** : qui donne un accès direct aux fonctions essentielles du logiciel (Compiler, Télé-verser).
- **Un moniteur de série** : qui afficher sur l'ordinateur l'état de variables, de résultats de calculs ou de conversions analogique-numérique.
- **Un éditeur (Edition des programmes)** : pour écrire le code de programme, avec onglets de navigation.
- **Une zone de message** : qui affiche et indique l'état des actions en cours.

- **Une console texte** : qui affiche les messages concernant le résultat de la compilation du programme [7].

II.2.1.2 Langage Arduino

Pour pouvoir programmer notre carte, il nous faut trois choses :

- ✓ Un ordinateur.
- ✓ Une carte Arduino.
- ✓ Connaissance de langage [7].

II.2.1.3 La syntaxe du langage

Le langage Arduino est très proche du C et du C++. La syntaxe d'un langage de programmation est l'ensemble des règles d'écriture liées à ce langage. On va donc voir dans cette section les règles qui régissent l'écriture du langage Arduino [7].

II.2.2 Node-RED

II.2.2.1 Définition

Est un outil de programmation permettant de relier des dispositifs matériels, des API et des Services en ligne de manière nouvelle et intéressante. Il fournit un éditeur basé sur un navigateur qui facilite le câblage des flux en utilisant la large gamme de nœuds dans la palette qui peut être déployée dans son temps d'exécution en un seul clic [2].

II.2.2.2 Historique

NODE -RED a vu le jour au début de 2013 en tant que projet parallèle de Nick O ‘Leary et Dave Conway-Jones du groupe Emerging Technology Services d'IBM.

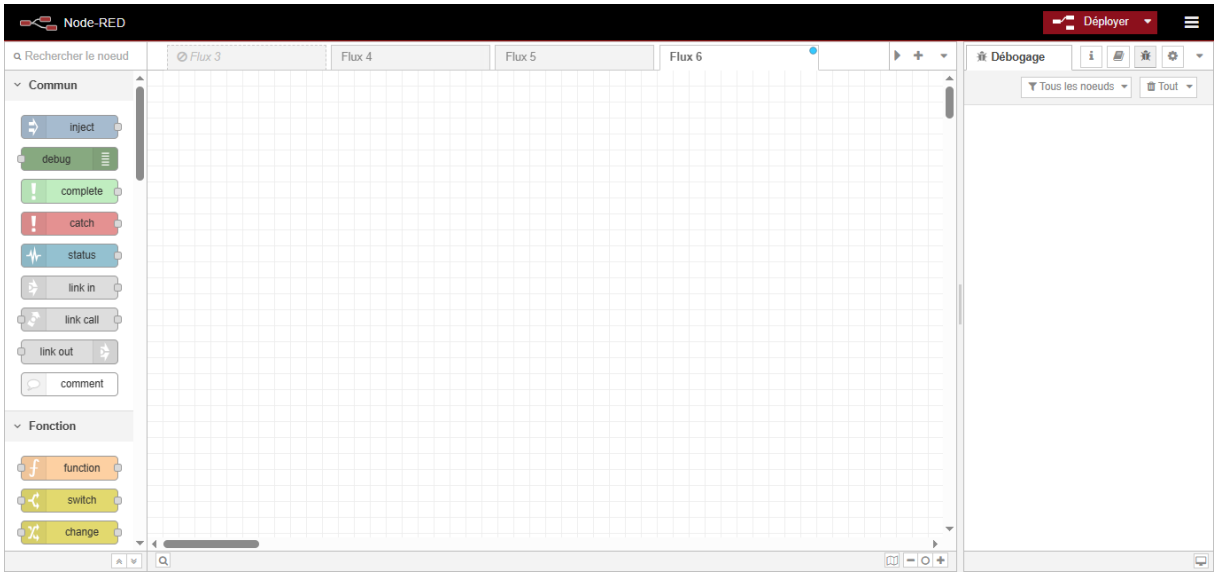
Ce qui a commencé comme une preuve de concept pour visualiser et manipuler les mappages entre les sujets MQTT, est rapidement devenu un outil beaucoup plus général qui pouvait être facilement étendu dans n'importe quelle direction. Il a été open-source en septembre 2013 et a été développé à l'air libre depuis, ce qui a abouti à l'un des projets fondateurs de la Fondation JS En octobre 2016 [8].

II.2.2.3 Présentation de Node-Red

Node-RED a été créé par IBM en 2013 afin de facilité la création d'objets connectés.

C'est un langage graphique (sous-jacent en JavaScript) utilise une approche de Programmation visuelle qui permet de créer des liens entre les flux de données entrant et sortant. Il est gratuit et nécessite : Node.JS (JavaScript du coté serveur).

L'accès à l'interface de programmation se fait à partir d'un navigateur internet.



La Figure II-3 : Interface Node-RED

Voici un petit aperçu de l'environnement de développement propose :

- Sur la gauche de l'écran se trouvent toutes les fonctions disponibles.
- Au centre se trouve la zone de programmation.
- Le panneau de droite regroupe un onglet info regroupant des informations contextuelles (exemple correspondant à la fonction sélectionnée) et un onglet 'debug' qui renvoie les messages d'erreurs ainsi que les messages de la fonction 'debug' qui se trouve dans les outils output.
- A chaque fois que vous voulez déployer votre programme, appuyez sur le bouton 'Déployer ' rouge qui se trouve dans le coin supérieur droit.
- Le menu situé à côté du bouton 'Déployer' contient quelques outils supplémentaires :
    - View : Permet d'afficher/masquer la grille qui peut aussi être magnétique (Snap to grid)
    - Import : Permet d'importer des nœuds.

C'est avec cette option que vous pouvez ajouter à votre flow des nœuds récupérés sur Internet par exemple [8].

II.2.3 INTERNET DES OBJETS

II. 2.3.1 Présentation de l'Internet des objets

Pour l'Internet des objets, on ne trouve pas une définition exacte du concept, cependant, elle est présentée pour décrire la mise en place de systèmes et des solutions technologiques impliquant la mise en réseau d'objets physique doté de capacités différentes et qui partagent un mode de communication pour permettre la collecte, l'échange et le transfert de données provenant de différents capteurs permettant ainsi l'interaction avec l'environnement externe.
Ces données caractérisées par leurs volume, variété et vélocité sont utilisées pour améliorer les Processus en les automatisant ou bien en tirant de l'information constructive et utile qui peut être la base d'action en temps réel ou dans le futur et de sorte à offrir des niveaux de services avancés et par conséquent changer pratiquement la façon de faire. Les acteurs présents dans de tels systèmes peuvent être physique tels qu'appareils électroniques et capteurs ou bien virtuels tels que protocoles et technologies de transmission des signaux qui permettant la génération et la transmission des données qui sont la base d'information.

Ces données collectées, traitées et stockées puis utilisées pour le suivi et le contrôle dans différents cas d'utilisations permettront des progrès dans différents domaines tels que la médecine, l'énergie, l'agriculture, les villes intelligentes et les maisons intelligentes [9].

II.2.3.2 Historique

Le terme "Internet of Things" (IoT) a été inventé par Kevin Ashton en 1999 dans le contexte de la gestion de la chaîne d'approvisionnement. Grâce aux dernières avancées en matière de technologies de l'information et de la communication, l'IoT est en train de révolutionner le monde, ouvrant de nouvelles possibilités et offrant des solutions qui étaient impensables il y a seulement quelques années. Le concept de l'IoT est très multidisciplinaire car il rassemble une grande variété de technologies, de protocoles, d'applications, de scénarios et de disciplines [2].

II.2.3.3 Définitions

Certaines définitions insistent sur les aspects techniques de l'IoT (« des objets ayant des identités et des personnalités virtuelles, opérant dans des espaces intelligents et utilisant des interfaces intelligentes pour se connecter et communiquer au sein de contextes d'usages variés », d'autres portent sur les usages et les fonctionnalités, (« la convergence des identifiants numériques ») notant qu'il devient possible d'identifier de manière unifiée des éléments d'information numérique (adresses) et des éléments physiques (une palette dans un entrepôt, ou un animal dans un troupeau).

Une définition plus synthétique est la suivante l'IoT est « un réseau qui permet, via des systèmes d'identification électronique normalisés et unifiés, et des dispositifs mobiles sans fil, d'identifier directement et sans ambiguïté des entités numériques et des objets physiques et ainsi de pouvoir récupérer, stocker, transférer et traiter, sans discontinuité entre les mondes physiques et virtuels, les données s'y rattachant » [10].

II.2.3.4 Objet connecté

Un objet connecté est un dispositif qui peut interagir d'une manière indépendante avec le monde physique c'est à dire sans l'intervention de l'être humaine, et pour l'enrichir en termes de fonctionnalités on intègre une connexion internet a cet objet ce qui nous donne un OCE (OC enrichi), mais il possède des contraintes comme la mémoire, la bande passante BP et la consommation d'énergie.

Chaque objet doit avoir au minimum un identifiant unique pour être reconnu par les autres et établir la connexion. Il est attaché à une identité exprimant ses propriétés comme type, couleur et poids, et son état ou bien ses caractéristiques comme la position et le niveau de batterie, il peut avoir aussi des capacités de calcul, d'acquisition et d'action. On peut dire qu'un objet connecté a une valeur quand il est connecté à d'autres objets et briques logicielles [6].

II.2.3.5 Architecture de l'IoT

Les objets de l'environnement de l'IoT donnent la possibilité de collecter, transmettre et stocker des données venant du monde physique. Il existe deux types d'objets :

- Objets passifs **:** qui ont une capacité de stockage faible et jouent le rôle d'identification, ils utilisent généralement un tag,
- Objets actifs : qui ont une grande capacité de stockage, réalisent des calculs et capable de communiquer sur un réseau.

• Capter : c'est transformer une grandeur physique analogique en un signal numérique.

• Concentrer : interfacer un réseau spécialisé d'objet à un réseau IP standard.

• Stocker : rassembler les données produites en temps réel, venues de manière non Prévue.

• Présenter : fait la collecte des informations en donnant à l'être humain un moyen d'agir et d'interagir.

• Le traitement des données : intervient à tous les niveaux de la chaine et permet de stocker de grandes quantités d'informations en donnant la possibilité de faire des traitements complexes en leur sein.

• La transmission des données : intervient à tous les niveaux de la chaine. Le réseau local de concentration et le réseau WAN supportent ces transmissions [2].

II.2.3.6 Domaine d'application l'IOT

L'IoT couvrira un large éventail d'applications et touchera quasiment à tous les domaines que nous affrontons au quotidien, ceci permettra l'émergence d'espaces intelligents, on peut citer :

• Les villes intelligentes : l'IoT permettra une meilleure gestion des réseaux divers qui alimentent nos villes en permettant un contrôle continu en temps réel et précis. Des capteurs peuvent être utilisés pour l'économie de l'eau et pour améliorer la gestion des parkings et du trafic urbain et diminuer les embouteillages et les émissions en CO_2.

• Le Transport : Des voitures connectées ou autonomes aux systèmes de transport/logistique intelligents, l'IoT peut sauver des vies, réduire le trafic et minimiser l'impact des véhicules sur l'environnement.

• La santé : dans le domaine de la santé, l'IoT permettra le déploiement de réseaux personnels pour le contrôle et le suivi des signes cliniques, notamment pour des personnes âgées, les objets connectés permettent de suivre la tension, le rythme cardiaque, la qualité de respiration où encore la masse graisseuse. Ceci permettra ainsi de faciliter la télésurveillance des patients à domiciles, et apporter des solutions pour l'autonomie des personnes à mobilité réduite.

• L'industrie : La technologie IoT permettra un suivi total des produits, de la chaîne de production, jusqu'à la chaîne logistique et de distribution en supervisant les conditions d'approvisionnement. Cette traçabilité de bout en bout permet aux usines d'améliorer l'efficacité de ses opérations, d'optimiser la production et d'améliorer la sécurité des employés.

• L'énergie : L'Internet des objets permet aux innombrables appareils qui composent le réseau électrique de partager des informations en temps réel pour une distribution et une gestion plus efficace de l'énergie [10].

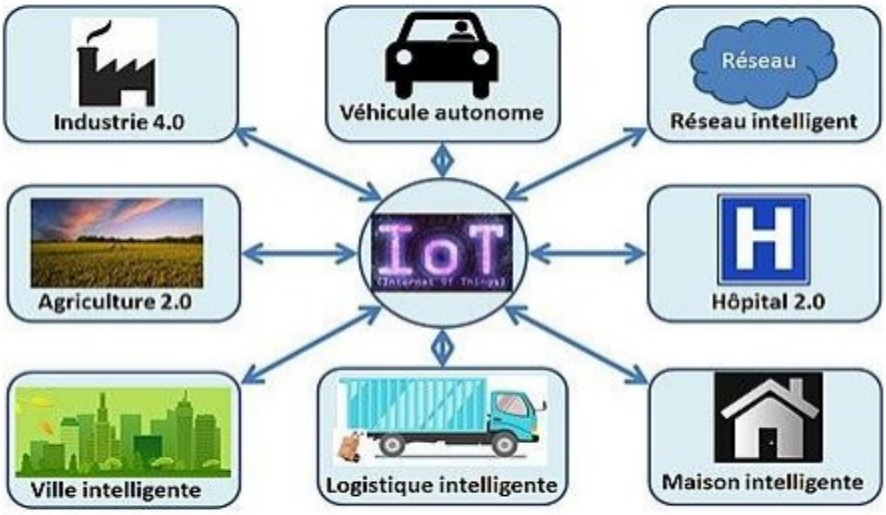


Figure II-4 : Domaine d'application l'IOT

II.2.3.7 Exemples d'applications

• **Suivi et logistique :** la possibilité de suivre n'importe quel objet, pour qu'il soit Identifié. Il est utilisé par les industriels pour le suivi des objets dans une chaîne de Production ou dans un stock, ou d'objets perdus ou volés.

• **Soins médicaux et aide à la personne :** l'obtention des informations en temps réel sur L'état des patients (rythme cardiaque, pression sanguine, etc.) en utilisant des capteurs, Ou bien même des capteurs portatifs lorsqu'ils sont en extérieur.

• **Environnements intelligents :** Autoréguler les paramètres de l'environnement (comme Température et luminosité) dans les logements et les bureaux, contrôler l'accès à Certaines ressources en fonction du contexte, ainsi l'analyse en temps réel de différents Paramètres (bruit, trafic routier) et améliorer la gestion dans les villes intelligentes.

• **Sensing social, sensing partagé et sensing participatif :** Utiliser les capteurs portatifs Pour collecter un ensemble d'informations concernant la position, l'activité en cours (Courir, faire du vélo, etc.), l'humeur ou l'environnement et permettre aux utilisateurs De partager ces informations à grande échelle [2].

II.2.3.8 Objectif d'IoT

L'Internet des objets est une infrastructure globale qui permet :

- Aux objets actifs l'échange et la collecte des informations à propos des objets passifs, Ce qui rejoint les définitions d'un réseau M2M mondial.
- Le stockage et l'accessibilité à l'identité des objets et les informations produits par ces objets et les connaissances nécessaires pour que les objets gagnent en autonomie.
- Accéder aux informations par l'être humaine et interagir avec les objets ce qui rejoint les définitions sur la connexion du monde physique et du monde virtuel [2].

II.3 MATERIELS

II.3.1 Carte Arduino

II.3.1.1 Définition

L'Arduino est un ensemble d'outils matériel et logiciel pour le prototypage électronique et l'apprentissage de la programmation des microcontrôleurs c'est une plate-forme de prototypage d'objets interactifs à usage créatif constituée d'une carte électronique et d'un environnement de programmation [11].

II.3.1.2 les composants d'une carte Arduino

La carte Arduino se compose de sept éléments principaux : le micro-contrôleur, le port d'alimentation de la carte et de téléversement, le port d'alimentation externe, les trois LED, les connectiques digitales, analogiques et "power".

- Le micro-contrôleur : c'est le cerveau d'une carte Arduino. Une fois le code est compilé en langage machine, il sera stocké pour être exécuté. • le port de téléversement : il servira à transmettre le code vers l'Arduino. Un câble de type USB A mâle/B mâle devra être utilisé. Ce port sert également d'alimentation en 5 V.
- Le port d'alimentation (7 V – 12 V) : opter pour une autre source d'énergie. L'Arduino abaissera la tension à 5 V.
- Les trois LED : une est reliée au micro-contrôleur et les deux autres clignotent lors de la transmission/réception de données.
- Les connectiques digitales, analogiques et "power" : les entrées/sorties digitales vont laisser passer le courant (position haute, 5 V) ou le stopper (position basse, 0 V). Pour l'analogique, vous pouvez "lire" la tension d'un connecteur. Enfin, les connectiques

power sont principalement constituées de GND pour la masse, de 5 V et 3,3 V pour le Vcc de votre circuit. Il existe plusieurs types pour une utilisation adaptée à vos besoins. Les plus communes sont les cartes Uno, Nano, Duemilanove, Méga, dans notre projet nous choisissons la carte Arduino Méga car elle la plus puissante des carte Arduino, possédant plus caractéristique [12].

II.3.1.3 Carte Arduino Méga

La carte Arduino Méga 2560 comporte un microcontrôleur et est construite autour du puissant microprocesseur ATmega2560. Cette carte robuste résiste à presque tout. Le microprocesseur ATmega2560 est le cerveau de la carte Arduino Méga. Grâce à ce microprocesseur la carte Arduino Méga est cadencée à 16 MHz et possède une mémoire flash de 256 Ko, une mémoire vive de 8 Ko et une mémoire EEPROM de 4 Ko. La puissance supérieure du processeur permet aussi à la carte Méga de disposer de 54 broches d'E/S numérique (dont 15 peuvent servir de sortie PMW) et de 16 broches analogiques. Trois ports série, Bus I2C et SPI Gestion des interruptions, Fiche USB, B Version : Rev 3 Dimensions : 107 x 53 x 15 mm [12].

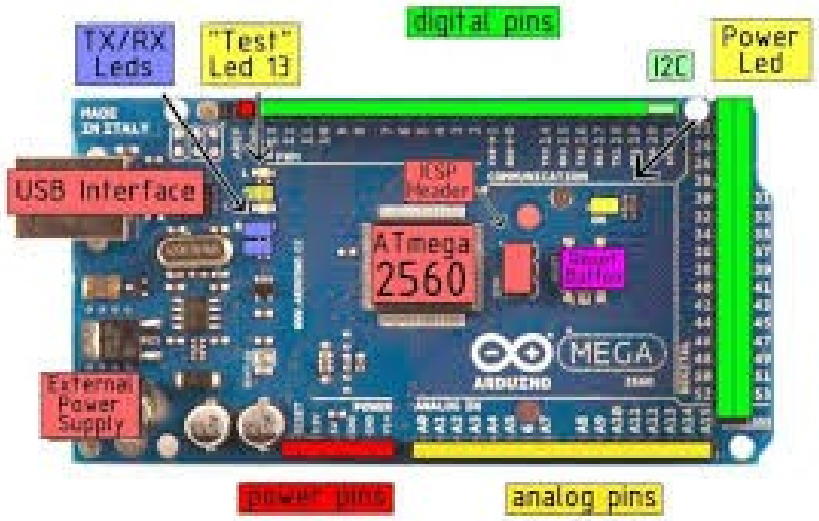


Figure II-5 : carte Arduino Méga

II.3.1.3.1 Spécifications techniques de la carte Arduino Méga (ADK)

- Microcontrôleur : ATmega2560
- Tension de fonctionnement : 5 V
- Gamme de tension d'entrée (recommandée) : 7-12 V
- Gamme de tension d'entrée (limite) : 6-20 V
- Pins digitaux E /S : 54

- Pins digitaux E/S PWM : 15
- Pins d'entrée analogique : 16
- Courant direct par pin E/S : 40 mA
- Mémoire flash : 256 KB
- Mémoire Flash du Boot loader : 8 KB
- SRAM : 8 KB
- EEPROM : 4 KB
- Fréquence d'horloge de l'oscillateur à quartz : 16 MHz
- Puce hôte USB : MAX3421E
- Dimensions : 101,52 x 53,3 mm
- Poids : 37 g [13]

II.3.1.3.2 Alimentation de la carte Arduino Méga (ADK)

La carte Arduino Méga ADK peut être alimentée soit par la connexion USB (qui fournit 5V jusqu'à 500mA) ou à l'aide d'une alimentation externe. La source d'alimentation est sélectionnée automatiquement par la carte.

L'alimentation externe (non-USB) peut être soit un adaptateur secteur (pouvant fournir de 7V à 12V) ou des piles (accumulateurs). L'adaptateur secteur peut être connecté en branchant une prise 2.1mm positif au centre dans le connecteur jack de la carte. Les fils en provenance d'un bloc de piles ou d'accus peuvent être insérés dans les connecteurs des broches de la carte appelées Gnd (masse ou 0V) et Vin (Tension positive en entrée) du connecteur d'alimentation[13].

La gamme de fonctionnement de la carte est comprise entre 6 à 20 volts. Cependant, si la carte est alimentée avec moins de 7V, la broche 5V pourrait fournir moins de 5V et la carte pourrait être instable. Si on utilise plus de 12V, le régulateur de tension de la carte pourrait chauffer et endommager la carte. Aussi, la plage idéale pour alimenter la carte est entre 7V et 12V

Les broches d'alimentation sont les suivantes :

- VIN : La tension d'entrée positive lorsque la carte Arduino est utilisée avec une source de tension externe (à distinguer du 5V de la connexion USB ou autre source 5V régulée).
- 5V : La tension régulée utilisée pour faire fonctionner le microcontrôleur et les autres Composants de la carte. Le 5V régulé fourni par cette broche peut donc provenir soit de la tension d'alimentation VIN via le régulateur de la carte, ou bien de la connexion USB (qui fournit du 5V régulé) ou de tout autre source d'alimentation régulée.
- Une alimentation de 3.3V fournie par le circuit intégré FTDI (circuit intégré faisant

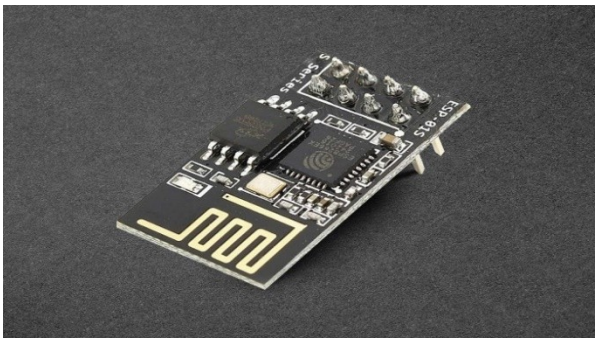
l'adaptation du signal entre le port USB de l'ordinateur et le port série de l'ATmega) de la carte est disponible : Ceci est intéressant pour certains circuits externes nécessitant cette tension au lieu du 5V). L'intensité maximale disponible sur cette broche est de 50mA

- GND : Broche de masse (ou 0V) [13].

II.3.2 Module WIFI ESP8266

II.3.2.1 Définition

L'ESP8266 est un circuit intégré avec un microcontrôleur permettant la connexion en Wi-Fi. Les modules intégrant ce circuit sont très utilisés pour contrôler des périphériques par Internet. L'ESP8266 est livré avec un firmware préinstallé vous permettant d'en prendre le contrôle à l'aide de « commandes AT » standards pouvant provenir d'une carte Arduino avec qui il peut communiquer par liaison série. Mais toute la souplesse et la puissance de ce module résident dans le fait que vous pouvez aussi y développer et flasher votre propre code, rendant ainsi le module entièrement autonome. Pour l'Internet des Objets (Iot), ce petit module (25x14 mm) vous rendra de grands services [11].



La Figure : II-6 Module wifi ESP8266

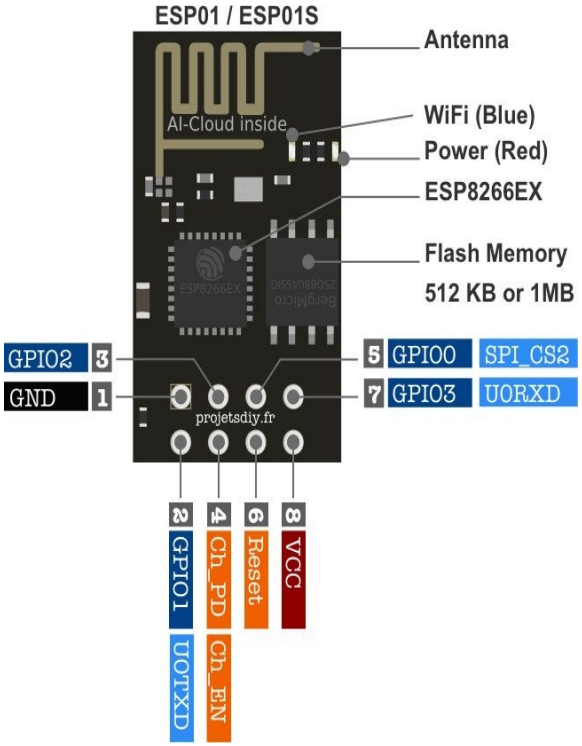
II.3.2.2 Brochage du module WIFIESP8266

- La broche GPIO 0 doit être maintenue à la masse (GND) pendant le téléversement du Code. Elle doit être déconnectée si vous retirez le FTDI et que l'ESP est en mode d'exécution normal.
- La broche CH_PD doit toujours être maintenue à l'état haut.
- La broche RESET est tirée à l'état haut avec une résistance de pull-up 10kΩ, et est reliée à la masse GND sur appui du bouton RESET lorsqu'il faut redémarrer l'ESP.

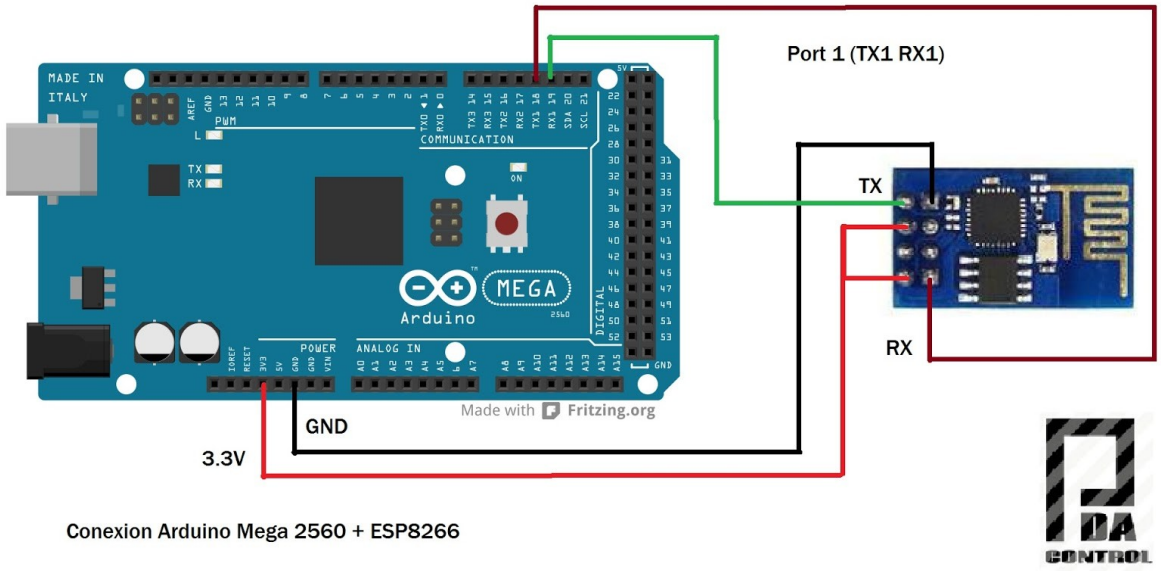
Pressez le bouton RESET à chaque fois avant de téléverser le code, et à chaque fois que vous connectez ou déconnectez la broche GPIO 0. Ce bouton RESET vous évitera bien des tracas.

Quand vous alimentez le circuit, la LED rouge de l'ESP-01 doit s'allumer, et la LED bleue doit s'allumer brièvement.

Plus tard, quand vous téléverserez le code dans l'ESP, la LED bleue devrait clignoter pendant le processus [11].



La Figure II-7 : Brochage du module WIFI ESP8266



La Figure II-8 : Montage Arduino + ESP8266

II.3.3 Carte de développement ESP32

L'ESP32 développé par la société Expressif, est une carte de développement à faible coût dédié à l'internet des objets (IoT) et les applications embarquées. C'est un (SoC) system on a chip doté de communications sans fil Wifi et Bluetooth. Cette puce est Dual Core. Il offre deux unités de traitement 32 bits qui fonctionnent à une fréquence plus rapide. Ce module utilise le protocole de communication WIFI 802.11 b/g/n, qui permet au microcontrôleur interne de se connecter à un réseau Wifi et de faire des connexions TCP/IP simples, ou d'être détectable par d'autres périphériques qui utilisent le même protocole WIFI [9].

La figure II-9 montre Carte de développement ESP32



La figure II-9 : Carte de développement ESP32

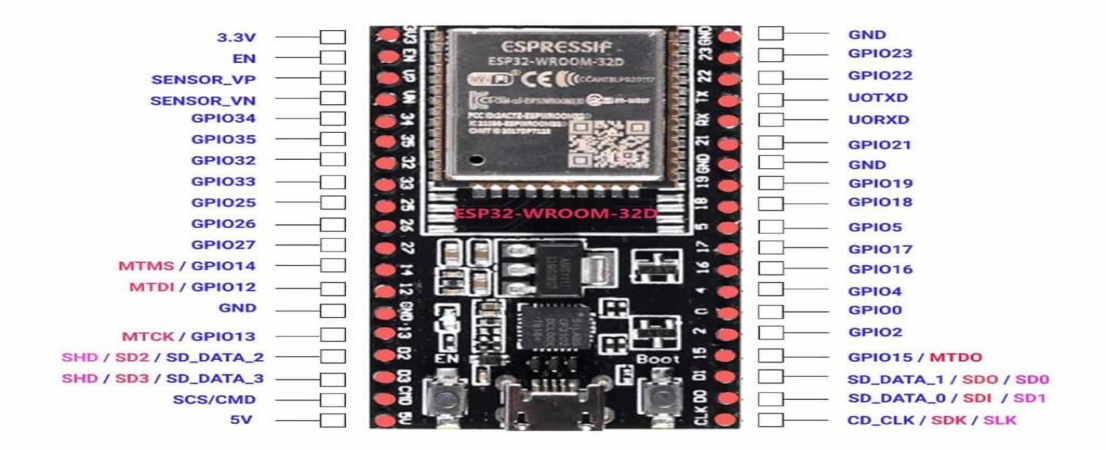
II.3.3.1 Les caractéristiques du module Esp32

- Mémoire vive : 520 KB
- Flash 64 M Bytes
- Alimentation 2.2 V - 3.6 V
- Consommation 80 mA en Moyenne
- Température -40°C à 125°C
- Wi-Fi 802.11b/g/n
- Bluetooth 4.2 BR/EDR + BLE. [9]

II.3.3.2 Le brochage de la carte Esp32

Le module ESP32 dispose d'un total de 32 E/S, dont 26 numériques et 18 analogiques. L'écran tactile peut également être utilisé pour créer une interface homme machine [9].

La figure II.10 : Le brochage de la carte Esp32



La figure II.10 : Le brochage de la carte Esp32

II.3.1 LEDs

Une diode électroluminescente (DEL en français, ou LED en anglais : Light Emitting Diode), est un dispositif optoélectronique capable d'émettre de la lumière lorsqu'il est parcouru par un courant électrique. Une diode électroluminescente ne laisse passer le courant électrique que dans un seul sens (le sens passant, comme une diode classique, l'inverse étant le sens bloquant) et produit un rayonnement monochromatique ou polychromatique non cohérent à partir de conversion d'énergie électrique lorsqu'un courant le travers [11].

II.4 Protocole MQTT

MQTT est un protocole de transport de messagerie de publication / abonnement Client Server. Il est léger, simple et conçu de façon à être facile à mettre en œuvre. Ces caractéristiques le rendent idéal pour une utilisation dans de nombreuses situations, y compris des environnements contraints tels que pour la communication dans les contextes Machine to Machine (M2M) et Internet of Things (IoT) où une petite empreinte de code est requise et / ou la bande passante du réseau est à la prime. Créé en 1999 par le Dr Andy Stanford-Clark d'IBM (International Business Machines Corporation), et Arlen Nipper d'Arcom (maintenant Eurotech) MQTT est le protocole qui joue un rôle important dans l'Internet des objets. D'où l'intérêt de bien le connaître.

En août 2010, IBM a publié le protocole MQTT V3.1 spécification, qui a été utilisé dans le développement de futures normes. Eclipse, et plus précisément le projet Eclipse Paho, a été le premier à déplacer MQTT sur son chemin de normalisation. En octobre 2014, MQTT est devenu une norme OASIS, 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**.

Ces objectifs sont toujours au cœur de MQTT tandis que l'attention c'est déplacé des systèmes intégrés propriétaires aux cas d'usage de l'Internet des objets. Il y a souvent une confusion quant à la signification appropriée de l'abréviation MQTT. La réponse courte est que MQTT n'a officiellement plus d'acronyme, c'est juste MQTT. La réponse longue histoire raconte que l'ancien acronyme signifiait "Transport de télémétrie MQ" (Message Queuing Telemetry Transport), alors que MQ fait référence à "MQ Séries", un produit développé par IBM qui prend notamment en charge MQTT. Le protocole a été nommé après quand il a été inventé 1999.

Il devient un standard ISO (ISO/IEC 20922) en 2016 [14].

L'efficacité du protocole MQTT a été approuvée pour certaines applications comme : les applications médicales et industrielles. Il s'est avéré même qu'il représente une bonne solution pour les applications mobiles dans des environnements contraints car il présente une faible empreinte mémoire, une faible consommation d'énergie avec une meilleure distribution de l'information aux destinataires. Car ses qualités 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 [15].

II.4.1 Message Queuing Telemetry Transport

Le protocole Publish/Subscribe asynchrone fonctionne avec TCP. C'est un protocole M2M (Machine to Machine) largement utilisé dans l'IOT. Le protocole MQTT déjà mentionnée auparavant est un protocole à message extrêmement léger. C'est pour cette raison qu'il est adopté dans l'écosystème IOT. Presque toutes les plates-formes IOT prennent en charge, le protocole MQTT peut envoyer et recevoir des données à partir des objets intelligents. [43] Trois niveaux de qualité de service sont prévus pour la transmission des messages :

• Fire and Forget : le message est envoyé une fois et aucun acquittement n'est exigé.

• Delivered at least once : le message est envoyé au moins une fois et un acquittement Est exigé.

• Delivered exactly once : un mécanisme en quatre temps assure la délivrance du message une seule et unique fois acquittement si oui ou non [15].

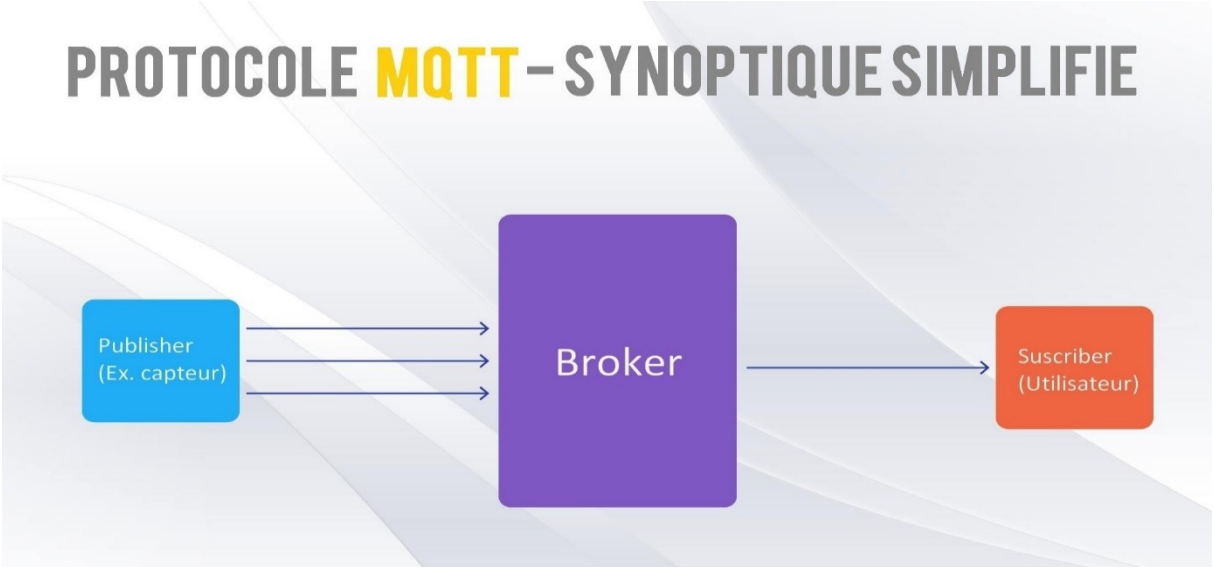


Figure II-11 : Protocole MQTT Simplifie

L'efficacité du protocole MQTT a été approuvée pour certaines applications comme :

Les applications médicales et industrielles. Il s'est avéré même qu'il représente une bonne solution pour les applications mobiles dans des environnements contraints car il présente une faible empreinte mémoire, une faible consommation d'énergie avec une meilleure distribution de l'information aux destinataires.

Il y a aussi d'autre modèle de protocole tel que le modèle XMPP, le modèle JMS, le modèle AMQP, etc [14].

II.4.2 Mode de fonctionnement

MQTT est un protocole de publication et de souscription (Publish/Subscribe) de message. Les clients n'utilisent pas la communication directe 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 par les 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 paterne 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 [15].

II.4.3 Topologies MQTT

Il n'existe pas une topologie particulière d'utilisation, la plus célèbre et simple étant celle avec un seul broker et différents clients, cela ne veut pas dire que d'autres topologies sont erronées au contraire.

D'autres organisations restent évidement possible, avec en particulier les systèmes à base de bridge dans lesquels plusieurs brokers sont utilisés, chacun étant client des autres brokers [15].

II.4.4 Les avantages du protocole

Il est idéal pour répondre aux besoins suivants :

- Protocole ouvert, simple, léger et facile à mettre en œuvre.
- Idéal pour l'utilisation sur les réseaux sans fils.
- Particulièrement adapté pour utiliser une très faible bande passante.
- Faible consommateur en énergie.
- Très rapide, il permet un temps de réponse supérieur aux autres standards du web actuel.

- Permet une forte fiabilité si nécessaire.
- Nécessite peu de ressources processeurs et de mémoires [2]

II.4.5 Les composants du protocole

II.4.5.1 Client

En parlant d'un client, cela signifie presque toujours un client MQTT. Cela inclut le Publisher ou les subscribers, les deux étiqueter un client MQTT qui ne font que publier ou s'abonner (En général, un client MQTT peut être à la fois Publisher et subscribers en même temps). Un client MQTT est un périphérique à partir d'un microcontrôleur jusqu'à un serveur à part entière, qui a une bibliothèque MQTT en cours d'exécution et se connecte à un broker MQTT sur tout type de réseau. Il peut s'agir d'un périphérique réellement limité et restreint en ressources, connecté à un réseau sans fil et doté d'une bibliothèque au minimum ou d'un ordinateur typique exécutant un client MQTT graphique des fins de test, essentiellement tout périphérique possédant une pile TCP / IP et parle MQTT au-dessus. La mise en œuvre client du protocole MQTT est très simple et vraiment réduit à l'essence.
C'est un aspect, pourquoi MQTT est idéalement adapté pour les petits appareils[14].

II.4.5.2 Broker

Un broker est un composant central du middleware, dont le rôle est de router les messages entre les applications et les clients. La contrepartie d'un client MQTT est le broker MQTT. En fonction de la mise en œuvre concrète, un broker peut gérer jusqu'à des milliers de clients simultanément connectés MQTT. Le broker est principalement responsable de recevoir tous les messages, de les filtrer, de décider qui s'y intéresse et d'envoyer le message à tous les clients subscribers.
Une autre responsabilité du broker est l'authentification et l'autorisation des clients. Et la plupart du temps, un broker est également extensible, le broker est directement exposé sur l'Internet et gère beaucoup de clients et passe ensuite des messages le long de l'analyse en aval et des systèmes de traitement.
Pour conclure, le broker est le hub central pour chaque message qui doit passer. Par conséquent, il est important, qu'il est hautement évolutif, intégrable dans les systèmes backend, facile à surveiller et bien sûr résistant aux défaillances [15].
Il existe plusieurs brokers pour MQTT, parmi eux :

- Activemq qui permet d'ajouter MQTT à un serveur Web Apache (Développé par la

Fondation Apache).

- Jorammq pour l'intégration de MQTT en Java.
- Mosquitto, le broker open-source le plus utilisé dans les projets DIY soutenu par la Fondation eclipse.org.
- Rabbitmq, un projet open source disponible également avec un support commercial.
- EMQTT, un projet développé en Erlang/OTP disponible pour Windows, Mac Os X et Linux.

Conçu pour recevoir de très nombreuses connexions (jusqu'à 1 million par serveur). Il est possible de créer un cluster (réseau de serveur) pour accroitre les nombres de connexions simultanées [14].

Dans ce projet en utilise EMQTT broker.



Figure II-12 logo EMQ

II.4.5.3 Topic :

Un topic ou sujet est une chaîne UTF-8, utilisée par le broker pour filtrer les messages de chaque client connecté. Un sujet se compose d'un ou plusieurs niveaux thématiques. Chaque niveau de sujet est séparé par une barre oblique (séparateur de niveau de sujet) [14].



Figure II-13 Exemple Topic MQTT

II.4.5.4 Utilisations de MQTT

Dès le début, MQTT a été développée pour les liens de données à haute latence et faible bande passante utilisés dans l'industrie du gaz et du pétrole. Ensuite il a été utilisé par plusieurs applications qui utilisent ce système de transfert de données, De nombreux objets connectés destinés aux particuliers, ainsi que des applications comme Facebook Messenger, reposent sur le MQTT. De même Amazon IoT se base sur ce protocole.

La légèreté de ce protocole est ça principale caractéristique car il requiert que des ressources minimales donc il peut être facilement utilisé par les petits microcontrôleurs. Comme citée dans les différents titres le protocole MQTT est utilisée par les OC (objets connectes) principalement pour communiquer entre eux car il leurs permet d'envoyer et/ou de recevoir des messages[15].

II.5 Module d'alimentation pour protoboard 3,3 V/5 V

Ce module, un petit circuit électronique conçu pour être facilement connecté à une plaque de prototypage (par exemple, un protoboard) est équipé de régulateurs de tension permettent de générer des tensions de 3,3 V et 5 V à partir d'une source d'alimentation externe, telle qu'une pile ou une alimentation électrique. Il est équipé également d'une prise jack femelle standard de 2,1 mm pour son alimentation avec une pile 9 V ou autres sources. Grâce à un bouton marche/arrêt pratique équipé d'un indicateur LED, vous n'avez plus besoin de brancher et débrancher continuellement votre source d'alimentation.

- **Caractéristiques :**

Tension d'entrée : 6,5 - 12 V CC
Tension de sortie : 3,3 V/5 V peut être sélectionné
Courant de sortie maximal : <700 ma

Alimenté par câble d'alimentation AC/DC 12V1A adaptateur secteur EU prise pour LED Bande CCTV



Figure II-14 : Module d'alimentation 3,3 V/5 V



Figure II-15 : câble d'alimentation AC/DC 12V1A adaptateur

II.6 CONCLUSION

Dans ce chapitre, nous avons exploré l'intégration des technologies IoT à travers l'utilisation de logiciels et de plateformes open source tels que **Arduino IDE** et **Node-RED**, en lien avec des microcontrôleurs puissants et économiques comme l'**ESP8266** et l'**ESP32**. Ces outils offrent une solution flexible et accessible pour le développement de systèmes connectés, que ce soit pour des applications domestiques, industrielles ou éducatives. Au final, la combinaison de ces outils constitue une base solide pour la conception de solutions IoT évolutives et efficaces, tout en développant des compétences techniques polyvalentes dans les domaines de l'électronique embarquée, de la programmation et de la communication de données.

Chapitre III :

Réalisation pratique

III.1 INTRODUCTION

Dans ce chapitre, nous allons parler de l'implémentation de tous les composants du système

et développer les étapes nécessaires pour aboutir à notre objectif et faciliter la réalisation de notre projet ainsi que les Outils de programmation (Arduino, Node-Red). Dans ce projet nous choisissons MQTT grâce – aux performance et on faire une étude dans ce chapitre.

III.2 REALISATION PRATIQUE

III.2.1 Besoin matériels et software

III.2.1.1 Matériels

Notre solution nécessite les composants suivants :

- 8 Modules wifi ESP8266
- Carte de développement ESP32
- Carte Arduino Méga
- Files de connexion
- Plaquette a point
- Serveur Machine sous Windows (broker).
- Réseaux wifi / point d'accès
- Power supply DC

III.2.1.2 softwares

Notre système nécessite aussi des logiciels et des programmes pour mettre notre HARDWARE en marche :

- Arduino IDE sous Windows
- Protocole de communication : wifi, MQTT, etc.
- Node-Red

III.2.2 Cahier de charge

Node-Red : Node-Red est un outil puissant pour construire des applications de l'Internet des Objets en mettant l'accent sur la simplification de la programmation qui se fait grâce à des blocs

de code prédéfinis, appelés nœuds pour effectuer des tâches. Il utilise une approche de programmation visuelle qui permet aux développeurs de connecter les blocs de code ensemble.

(La Figure II.3 : Interface Node-RED)

Le protocole MQTT permet d'établir une connexion internet entre le camion et la chambre de contrôle (l'interface homme machine et ESP32) , car à l'aide de ce protocole on peut envoyer des données sortant de l'ESP8266 vers la chambre de contrôle ou vice versa.

Dans notre projet, nous souhaitons collecter les déchets urbains en utilisant l'Internet des objets dans deux zones différentes. Chaque zone contient quatre poubelles d'une capacité de 250 kg, et chaque zone est responsable de la collecte de ses déchets, avec un camion pour chacune avec un capacité 1000Kg**.**

Nous avons détaillé collecter des déchets urbains par MQTT et Module ESP8266 avec chaque ESP8266 définir une poubelle et l'envoyer depuis le lieu de mesure à PC distants.

Pour ce projet, nous avons utilisée « EMQX public broker ».

- Dans notre projet, nous avons créé une solution pour envoyer des données à distance via le protocole **MQTT** qui contient un Broker (emqx.io) et la forme générale de notre projet est représentée dans la Figure III-1 : schéma globale.

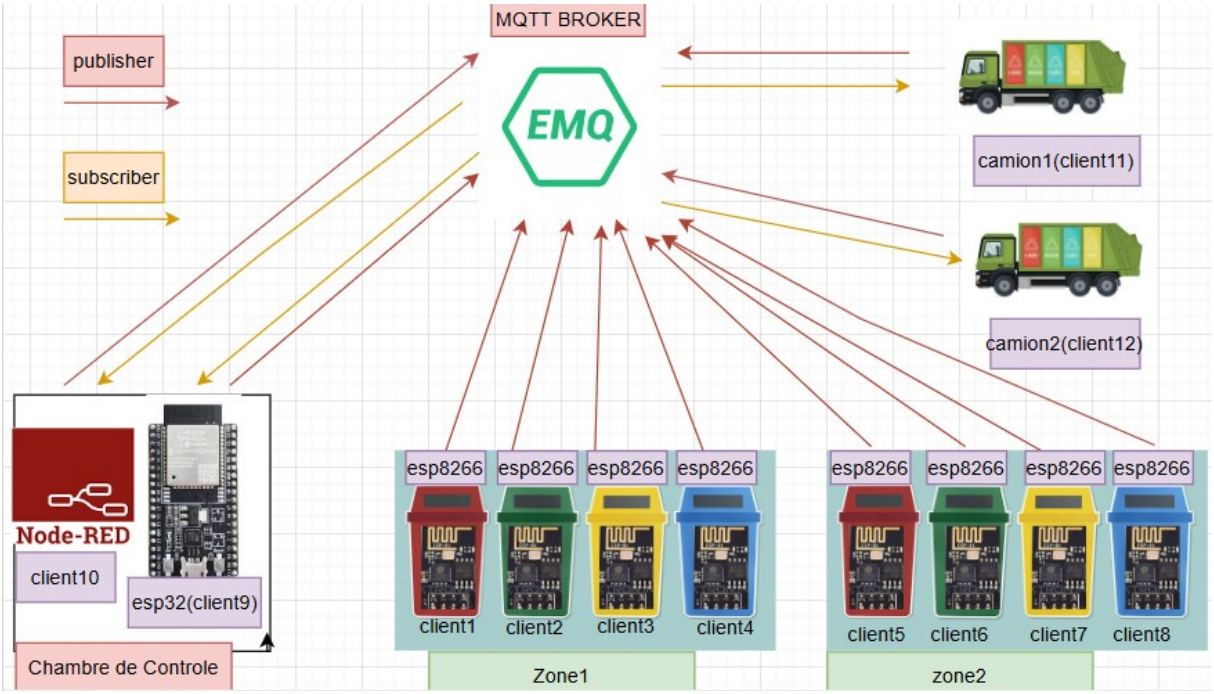


Figure III-1 : schéma globale.

Le système proposé repose sur une architecture distribuée où chaque poubelle est équipée d'un module ESP8266 qui mesure le niveau de remplissage. Ces données sont envoyées via le protocole MQTT à un broker hébergé sur un serveur distant. Ensuite, le logiciel Node-RED récupère ces informations et les traite pour les afficher sur une interface utilisateur (Dashboard) ainsi que pour les enregistrer dans un fichier Excel pour un suivi historique. Le microcontrôleur ESP32, placé dans le camion, permet un retour d'information ou d'actions à distance, comme l'activation d'une lampe de signalisation.
Ce système permet une surveillance en temps réel, une meilleure gestion de la collecte des déchets, et une réduction des trajets inutiles.

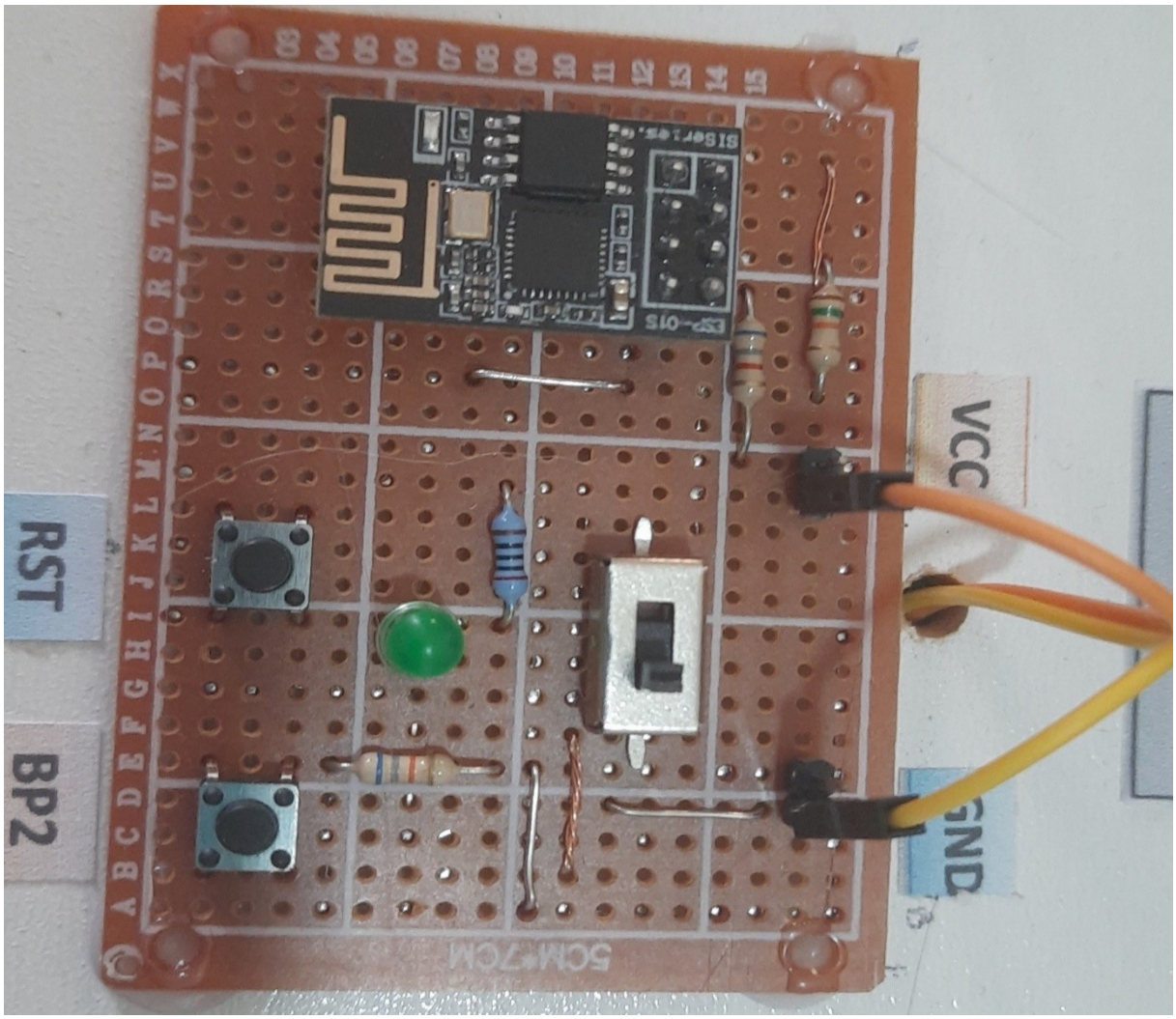


Figure III-2 : schéma d'un client

Notre système est constitué de :

- Module de capture des informations : Module wifi ESP8266, ESP32
- Module de communication : La communication **MQTT** : entre le nœud principal et ESP8266

La figure III-3 représente la réalisation de notre système

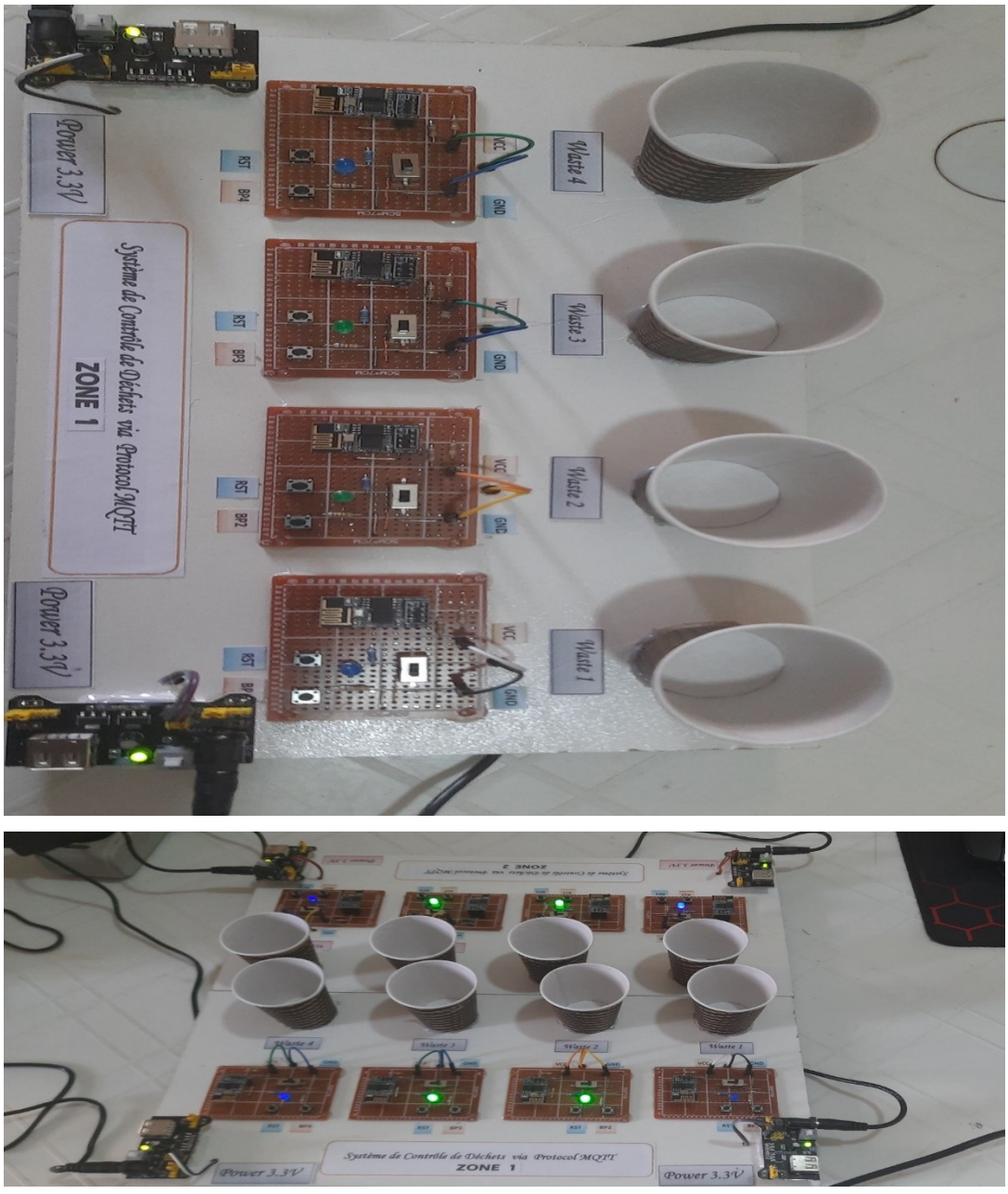


Figure III-3 : la réalisation de notre système

III.2.3 PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT DE SYSTEME PROPOSE

Le système que nous proposons est une solution pour envoyer et recevoir un ensemble des informations par exemple un message par un moyen de communication (PC, Smart Phone) à distance.

Dans notre projet nous avons détailler comment mesurer la capacité des poubelles par ESP32 et le protocole MQTT on utilise le module WIFI ESP8266, et l'envoyer depuis le lieu de mesure à PC distant, après on ajouter le nœud MQTT et on fait un programme qui est envoyer les données par des deux réseaux de wifi différents.

Notre travail est devisé en 3 parties :

Partie 1 : chargé le programme principal au ESP8266 par Arduino IDE l

Partie 2 : Commençons par réaliser un flow très simple, ce flow lit la dernière valeur de niveau de remplissage du poubelles et affiché sous forme d'une jauge et chart dans une fenêtre qui s'appelle le " Dashboard ".

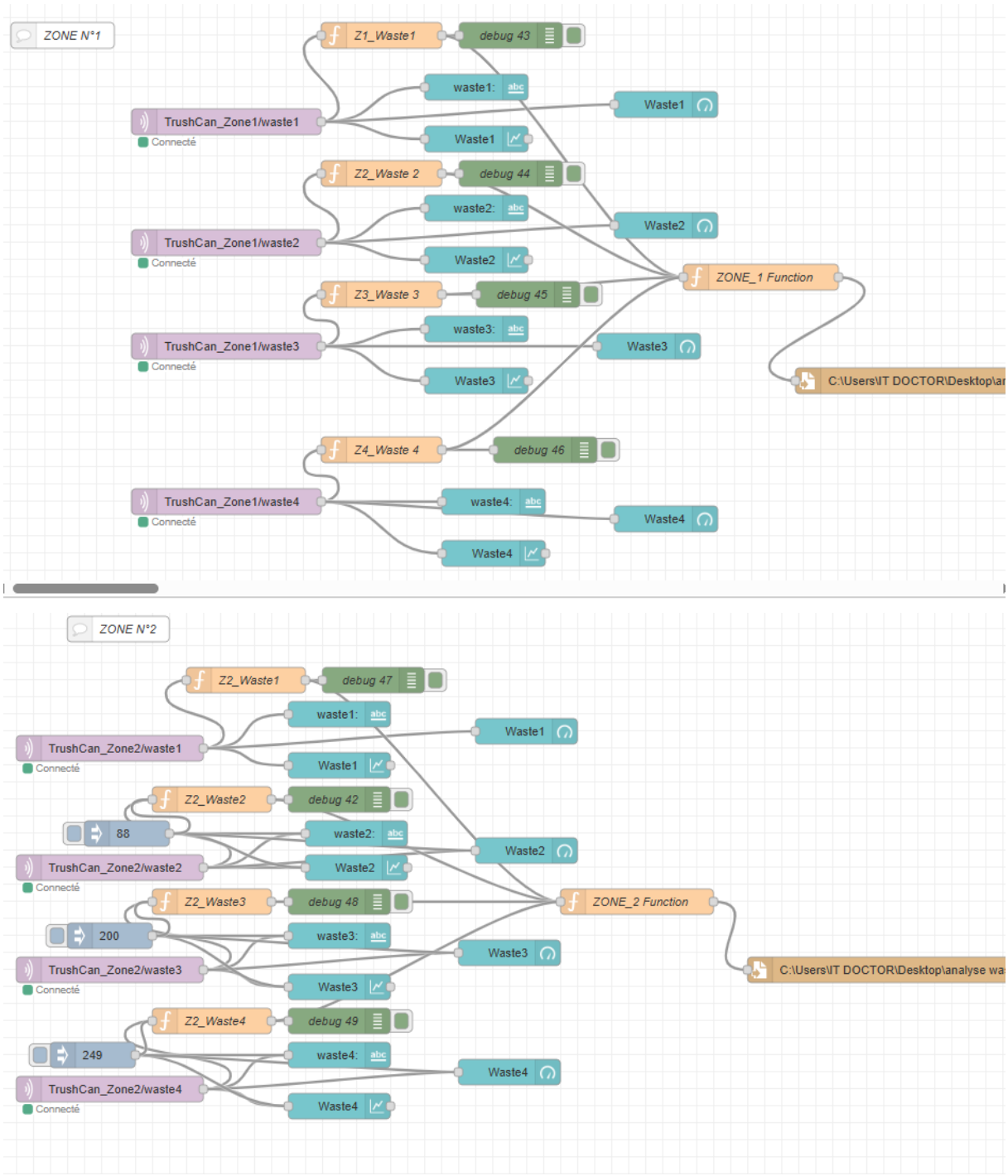


Figure III-4 : la dernière valeur de poids des poubelles

Ce flow composé de :

- **8 nœuds Gauge :** pour ajouter des widgets de type jauge à l'interface utilisateur.

Dans les figures ci-dessous avons expliqué comment nous avons fait la configuration de notre nœud " gauge " (figure III-5) « chaque gauge définir un remplissage d'une seule poubelle »

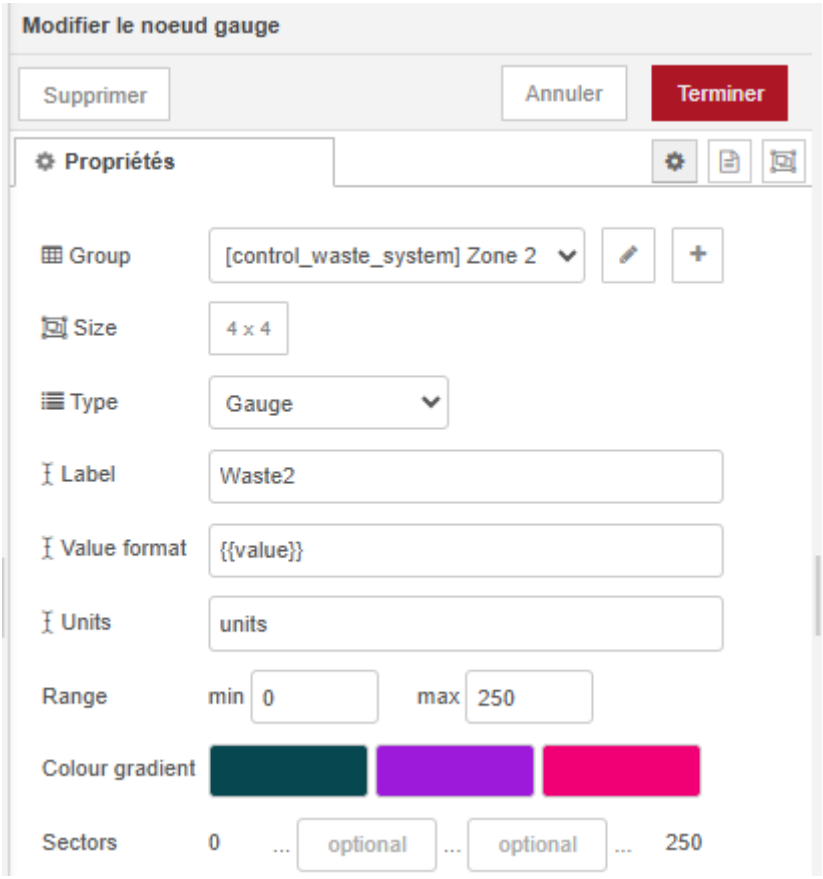


Figure III-5 : gauge de " poids d'une poubelle "

- **8 nœuds debug :** qui affiche le msg. Payload
- **Un nœud function :** Le nœud Fonction permet de faire passer un message par une fonction JavaScript.

Dans la figure représentée ci-dessous, nous montrant comment nous avons écrit la fonction de poids des poubelles.



Figure III-6 : la fonction de mesurer des poids des poubelles.

- **Un nœud mqtt :** Pour envoyer via le protocole MQTT, on clique sur le nœud pour configurer les paramètres de protocole MQTT (topic, adresse du broker, etc.)

Nous avons choisi le topic ‘TrushCan_Zone/waste’ avec
une même broker " broker.emqx.io" comme le montre la figure III-6

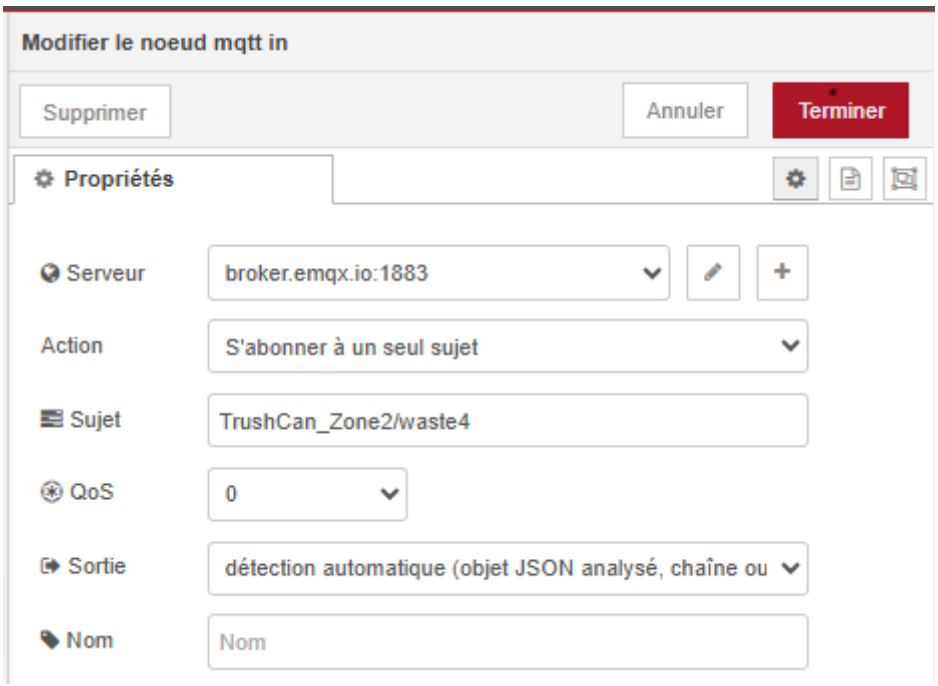


Figure III-7 : Configuration du nœud MQTT IN

- **Un nœud écrire le fichier** : un nœud envoyer toutes les données (poids du poubelles, la date, l'heurs) de chaque poubelle a fichier 'Excel' pour l'analyse plus tard .

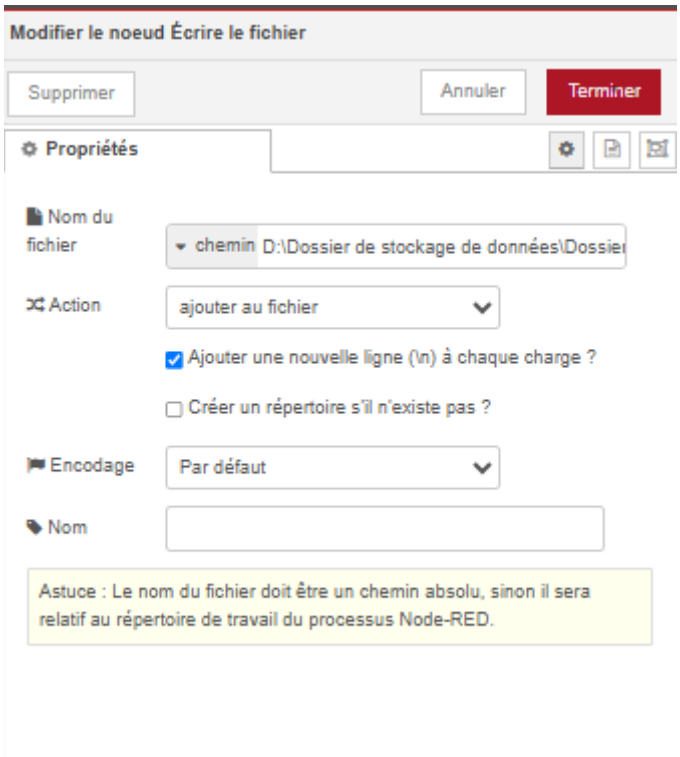


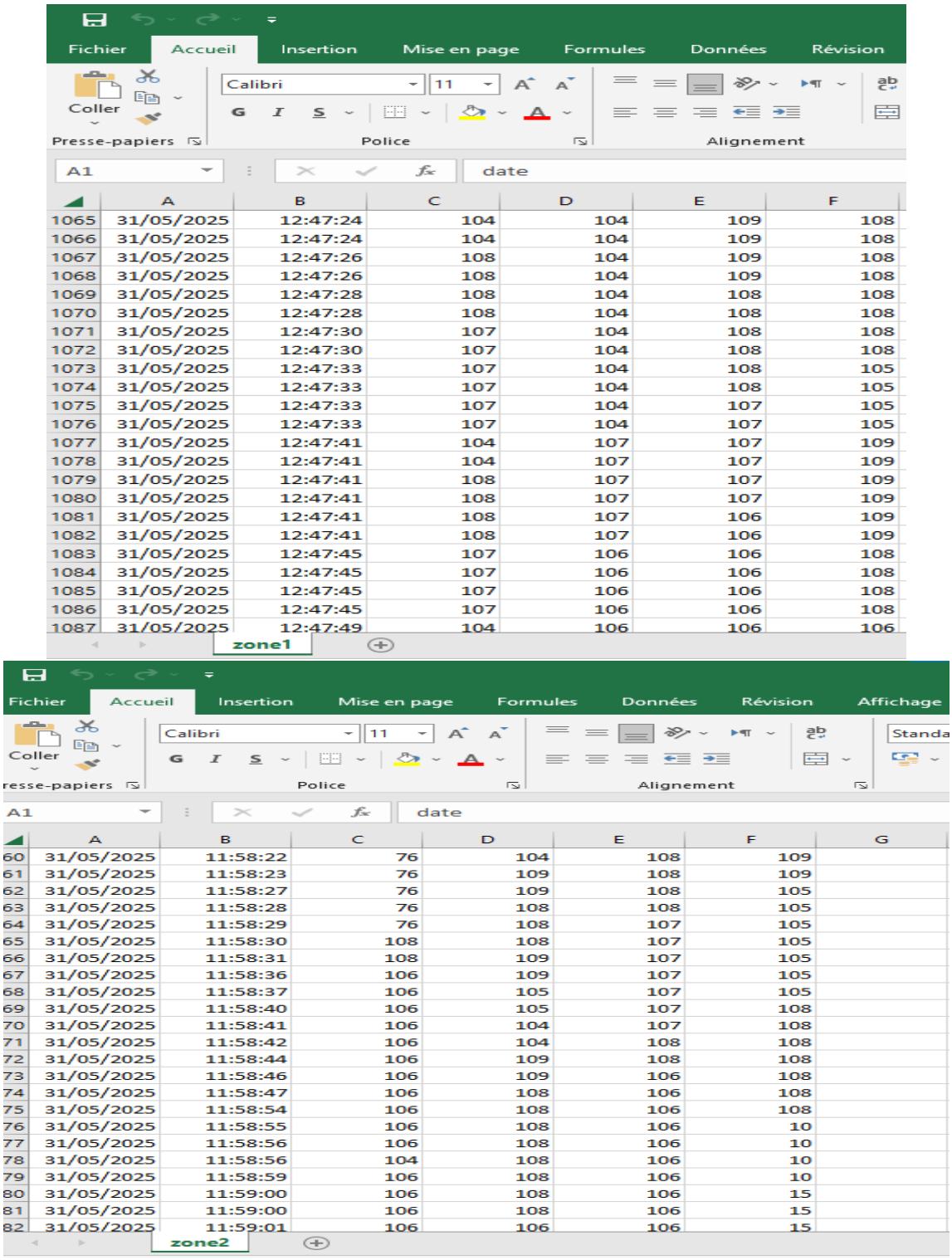
Figure III-8 : nœud écrire le fichier

- 8 **Nœuds chart :** affiché la courbe de remplissage des poubelles
- **8 nœuds text :** affiche résultat numérique poids de la poubelle (nombre)

On suivi les étapes suivants pour envoyer et recevoir les données (poids du poubelles) à distants en trouvent cette résultat :



Figure III-9 : Dashboard ‘gauge ‘, ‘chart’, ‘text’



Fichier Accueil Insertion Mise en page Formules Données Révision

Coller Presse-papiers Calibri 11 Police Alignement

A1 date

	A	B	C	D	E	F
1065	31/05/2025	12:47:24	104	104	109	108
1066	31/05/2025	12:47:24	104	104	109	108
1067	31/05/2025	12:47:26	108	104	109	108
1068	31/05/2025	12:47:26	108	104	109	108
1069	31/05/2025	12:47:28	108	104	108	108
1070	31/05/2025	12:47:28	108	104	108	108
1071	31/05/2025	12:47:30	107	104	108	108
1072	31/05/2025	12:47:30	107	104	108	108
1073	31/05/2025	12:47:33	107	104	108	105
1074	31/05/2025	12:47:33	107	104	108	105
1075	31/05/2025	12:47:33	107	104	107	105
1076	31/05/2025	12:47:33	107	104	107	105
1077	31/05/2025	12:47:41	104	107	107	109
1078	31/05/2025	12:47:41	104	107	107	109
1079	31/05/2025	12:47:41	108	107	107	109
1080	31/05/2025	12:47:41	108	107	107	109
1081	31/05/2025	12:47:41	108	107	106	109
1082	31/05/2025	12:47:41	108	107	106	109
1083	31/05/2025	12:47:45	107	106	106	108
1084	31/05/2025	12:47:45	107	106	106	108
1085	31/05/2025	12:47:45	107	106	106	108
1086	31/05/2025	12:47:45	107	106	106	108
1087	31/05/2025	12:47:49	104	106	106	106

zone1

Fichier Accueil Insertion Mise en page Formules Données Révision Affichage

Coller resse-papiers Calibri 11 Police Alignement Standa

A1 date

	A	B	C	D	E	F	G
60	31/05/2025	11:58:22	76	104	108	109	
61	31/05/2025	11:58:23	76	109	108	109	
62	31/05/2025	11:58:27	76	109	108	105	
63	31/05/2025	11:58:28	76	108	108	105	
64	31/05/2025	11:58:29	76	108	107	105	
65	31/05/2025	11:58:30	108	108	107	105	
66	31/05/2025	11:58:31	108	109	107	105	
67	31/05/2025	11:58:36	106	109	107	105	
68	31/05/2025	11:58:37	106	105	107	105	
69	31/05/2025	11:58:40	106	105	107	108	
70	31/05/2025	11:58:41	106	104	107	108	
71	31/05/2025	11:58:42	106	104	108	108	
72	31/05/2025	11:58:44	106	109	108	108	
73	31/05/2025	11:58:46	106	109	106	108	
74	31/05/2025	11:58:47	106	108	106	108	
75	31/05/2025	11:58:54	106	108	106	108	
76	31/05/2025	11:58:55	106	108	106	10	
77	31/05/2025	11:58:56	106	108	106	10	
78	31/05/2025	11:58:56	104	108	106	10	
79	31/05/2025	11:58:59	106	108	106	10	
80	31/05/2025	11:59:00	106	108	106	15	
81	31/05/2025	11:59:00	106	108	106	15	
82	31/05/2025	11:59:01	106	106	106	15	

zone2

Figure III-10 : fichier Excel(historique)

Partie 3 : dans cette partie en utilise ESP32

Dans le cadre de ce projet, nous avons mis en place un système de commande à distance d'un éclairage d'une lampe de signalisation sur une camionnette à l'aide d'un microcontrôleur ESP32. Le principe de fonctionnement repose sur l'utilisation d'un bouton dans une application mobile installée sur un smartphone. Lorsque l'utilisateur appuie sur ce bouton, une commande est envoyée via Wi-Fi vers l'ESP32 installé dans le camion. Ce dernier interprète la commande reçue et active ou désactive le circuit du lampadaire à l'aide d'un relais. Cette solution permet un contrôle simple, rapide et sans fil de l'éclairage, tout en assurant une sécurité et une fiabilité adaptées aux besoins du transport routier.

Figure III-11 : réalisation de esp32 dans la chambre de contrôle

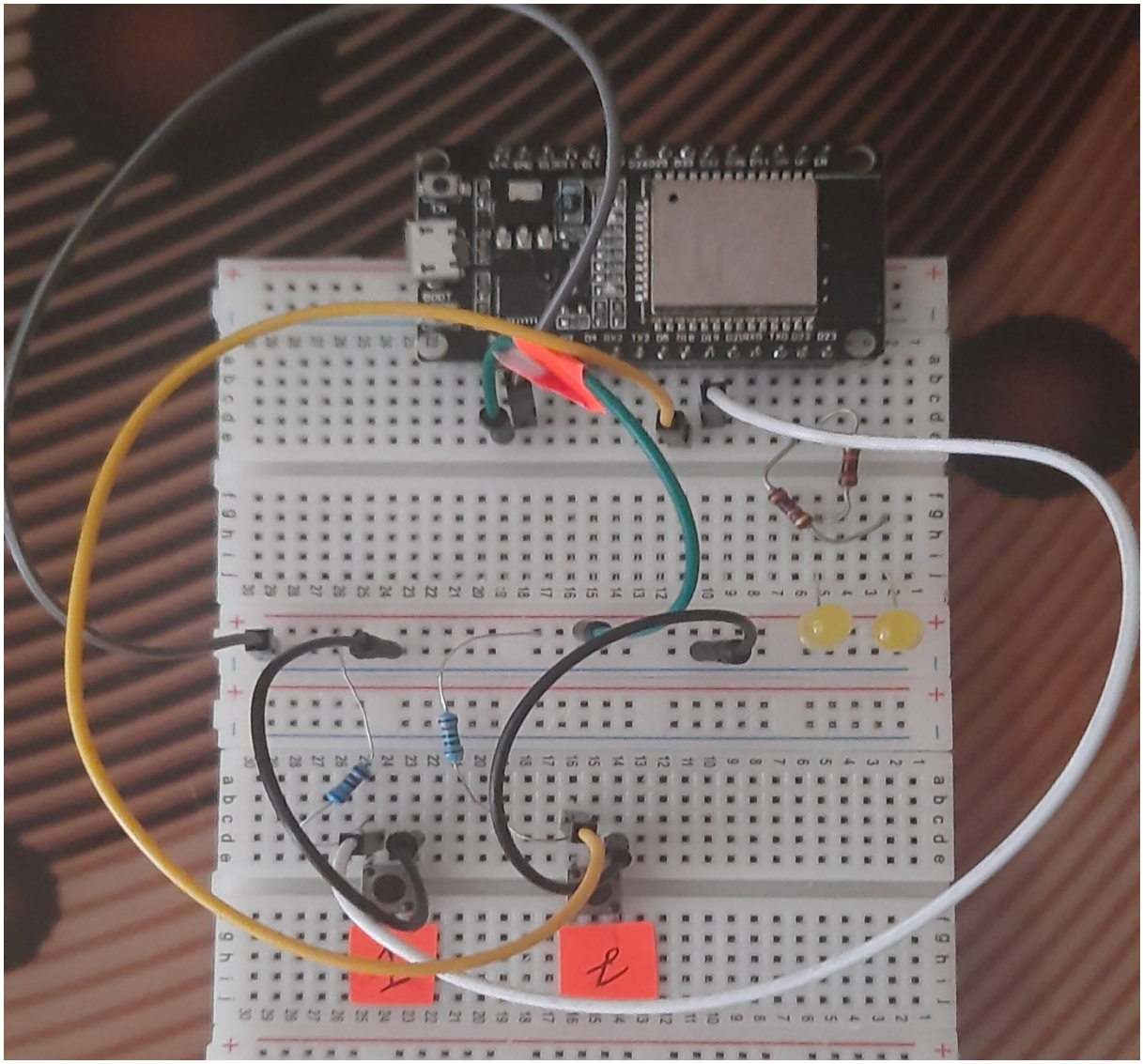


Figure III-11 : réalisation de esp32 dans la chambre de contrôle

III.3 Tests et validation

Après avoir finalisé l'implémentation matérielle et logicielle, nous avons réalisé plusieurs tests sur le terrain pour valider le fonctionnement du système. Chaque module ESP8266 a été testé individuellement pour vérifier la fiabilité des mesures et l'envoi correct des données via MQTT. Le Dashboard Node-RED a permis de visualiser les niveaux de remplissage en temps réel. Des tests de simulation de surcharge ont été effectués, et le système a réagi correctement en mettant à jour les jauges et en enregistrant les valeurs dans le fichier Excel. Le temps de réponse moyen entre la mesure et l'affichage sur le Dashboard est inférieur à 2 secondes, ce qui est satisfaisant.

III.4 CONCLUSION

Dans ce chapitre, une méthode de conception et réalisation de système est présentée en détail, tout en expliquant les étapes qu'on a suivies, et le matériel hardware et software utilisé pour l'acquisition des données. La solution proposée est très intéressante avec l'utilisation ESP8266 comme microcontrôleur et MQTT comme serveur.

Ainsi l'utilisation de la plateforme de développement Node-RED nous a facilité la conception d'une interface IHM, qui permet au gestionnaire de superviser et contrôler en temps réel la collecte des déchets, avec la possibilité de choisir entre deux modes de contrôle soit le mode manuel ou bien automatique.

CONCLUSION GENERALE

La mise en place d'un système de collecte des déchets intelligent basé sur l'Internet des Objets (IoT) représente une avancée significative vers une gestion plus efficace, écologique et économique des déchets urbains. Dans ce projet, l'utilisation conjointe d'un microcontrôleur Arduino, du protocole de communication MQTT et de la plateforme de visualisation Node-RED a permis de développer une solution connectée, capable de surveiller en temps réel le niveau de remplissage des bacs à déchets.

Grâce à ESP8266, les données collectées sont transmises via MQTT à un serveur ou tableau de bord centralisé (Node-RED), où elles sont visualisées et analysées. Cela permet d'optimiser les tournées de collecte, de réduire les coûts liés au transport, et de limiter les débordements et la pollution.

En conclusion, ce projet démontre que les technologies IoT, même avec des composants simples et accessibles comme ESP8266, ESP32 peuvent être exploitées efficacement pour répondre à des problématiques environnementales concrètes.

À l'avenir, ce projet pourrait connaître plusieurs évolutions importantes, notamment en intégrant des sources d'énergie renouvelable comme l'énergie solaire pour alimenter les capteurs et les modules de communication, ce qui rendrait le système totalement autonome et respectueux de l'environnement. De plus, l'ajout d'un système de tri intelligent des déchets dès la source permettrait de faciliter la séparation entre déchets recyclables, organiques et non recyclables, améliorant ainsi le taux de valorisation. L'ensemble du système pourrait être couplé à une plateforme de suivi et de gestion centralisée, permettant une optimisation des tournées de collecte et une meilleure planification des ressources.

Ces améliorations contribueraient non seulement à réduire les coûts énergétiques et opérationnels, mais aussi à promouvoir une culture écologique durable et participative au sein des villes intelligentes.

Référence Bibliographie

[1] Sidi Ould ALOUEIMINE, « méthodologie de caractérisation des déchets ménagers à Nouakchott (Mauritanie) : contribution à la gestion des déchets et outils d'aide à la décision », doctorat, LIMOGES, Nouakchott, Mauritanie, 2006.

[2] A. LABIDI et F.Z RAHMANI, "Système intelligent de collecte des déchets ménagers à base d'IoT", mémoire de master, Université de Médéa, Médéa, Algérie, 2021.

[3] S. BOUSNANE et N. BOURAHLA, " Institut de gestion des technique urbaines département gestion des technique urbaines ", mémoire de master, , Université Larbi Ben M'hidi Oum el Bouaghi, Oum el Bouaghi, Algérie,2018.

[4] kH. REZZAG**,** " Diagnostic de traitement et valorisation des déchets solides urbains à la wilaya de Ghardaïa ", mémoire de master, , Université de Ghardaïa, Ghardaïa, Algerie,2017.

[5] H. MEDJAHE, "Contribution à la caractérisation des déchets urbains solides issus des activités commune d'Annaba", thèse de doctorat, Université Badji Mokhtar – Annaba, Algerie,2021.

[6] Z. HAMDACHE et F. TOUIL, " Réalisation et commande d'un bras robotique à quatre degrés de liberté ", mémoire de master, Université de akli Mohand Oulhadje-Bouira, Bouira, Algérie,2019.

[7] M. AZEROU et A. AKBI, "Système à base d'Arduino pour la reconnaissance des activités et la détection des chutes des personnes âgées ", mémoire de master, Université M'Hamed Bougara-Boumerdes, Boumerdes, Algerie,2020.

[8] H. HADAD, " Conception D'une Interface IHM Pour Le Contrôle Et La Supervision D'une Cellule De Production A Base D'IoT ", mémoire de master, Université de Médéa, Médéa, Algérie, 2021.

[9] R. DEKHMOUCHE, " Conception et réalisation d'un surveillance médicale basé IoT", mémoire de master, Université Larbi Ben M'hidi Oum el Bouaghi, Oum el Bouaghi, Algérie,2021.

[10] N. REDDAF et Y. RAOUACHE, “ Protection des données dans l’internet des objets “, mémoire de master, Université A/Mira Bejaia, Bejaia, Algérie,2021.

[11] S. BENMAKHLOUF et M. AMAROUCHE, “ Commande intelligente de l’éclairage d’une maison “, mémoire de master, Université Mohamed Larbi Ben M‟hidi - Oum El bouaghi, Oum El bouaghi, Algérie, 2020.

[12] A. ILTEN et C. HADDOUCHE, “Internet des objets appliqué à la domotique“, mémoire de master, Université A/Mira Bejaia, Bejaia, Algérie,2022.

[13] A. ALILECHE et O.AIT DRIS, “ Conception et Réalisation d’un Automate Programmable Industriel à base d’une Carte Arduino Méga (ADK)“, mémoire de master, Université mouloud Mammeri, Tizi-Ouzou, Tizi-Ouzou, Algérie,2018.

[14] S. MOULAI MOSTEFA et CH. LARBI, “Conception d’un Système D’acquisition Des Données En Réel A Base de IOT En Utilisant Le Protocole MQTT“, mémoire de master, Université Yahia Farés De Médéa, Médéa, Algérie,2021.

[15] S. BENDAMARDJI, “Conception et réalisation d’un système d’IoT pour la gestion des camions de transport des carburants de NAFTAL“, mémoire de master, Université Yahia Farés De Médéa, Médéa, Algérie,2022.