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

# FACULTE DE LA TECHNOLOGIE

**DEPARTEMENT DE GENIE ELECTRIQUE**



## Mémoire

Pour l'obtention du diplôme de

**MASTER EN TELECOMMUNICATION**

**Spécialité :** Systèmes des télécommunications

## Thème

# Système intelligent de collecte des déchets ménagers à base d'IoT

**Préparé et présenté par,**

LABIDI Aya

RAHMANI Fatma Zohra

**Proposé et dirigé par,**

Dr. BOUHEDDA Mounir

Mme. BENSARI Lamia

**Promotion 2021**

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



# Remerciements

*Nous tenons tout d'abord à remercier Dieu le Tout puissant et miséricordieux, qui nous a donné la force nécessaire et la patience d'accomplir ce modeste travail.*

*En second lieu, nous tenons à remercier notre encadreur Dr. BOUHEDDA Mounir et notre Co-encadreur Mme BENSARI Lamia, pour leurs précieux conseils, orientation et aide durant la période du travail.*

*En troisième lieux, nous tenons à remercier tous les enseignants durant le cycle de formation universitaire de l'université Yahia Farés de Médéa « Département de Génie Électrique ».*

*Nos vifs remerciements vont également aux membres du jury pour l'intérêt qu'ils ont porté à notre recherche en acceptant d'examiner notre travail et de l'enrichir par leurs propositions.*

*Enfin, nous tenons également à remercier toutes les personnes qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de ce travail.*



# *Dédicaces*

*Merci mon Dieu de m'avoir donné la capacité d'écrire et de réfléchir, la force d'y croire, la patience d'aller jusqu'au bout du rêve et le bonheur d'élever mes mains vers le ciel.*

*Je dédie ce travail :*

*A mes parents qui ont tout donné pour atteindre cette étape depuis le primaire jusqu'à l'université, pour leur patience, leur amour, leur soutien, et leur encouragement et sacrifices.*

*A mon père qui a sacrifié toute sa vie afin de me voir devenir ce que je suis, décédé depuis deux ans RABI YARHMO.*

*A mes frères «  Wassim » et « Ishak » que dieu les protèges.*

*A tous mes amis spécialement « Nedjat » et « Saleh Amine » et a tous ceux qui m'aiment et que j'aime.*

*Aya*



# Dédicaces

*Je rends grâce à Dieu de m'avoir donné le courage et la volonté ainsi que la conscience pour venir à terme de mes études*

*Je dédie ce modeste travail :*

*« Ma chère mère », qui a toujours été présente pour moi, dans les moments les plus difficiles et qui sans cesse veille sur moi avec ses prières, pour ses grands sacrifices et tout l'amour qu'elle m'apporte.*

*« Mon cher père », pour ses conseils et pour toute la confiance qu'il a mise en moi et pour son dévouement pour mon bonheur. Que Dieu me le garde.*

*A mes chers sœurs « Meriem » et « Malak »*

*A mes frères « Mohamed » et « Hmitouch et sa femme» que Dieu les protègent.*

*A mon mari « Islem » et tous ma belle-famille*

*A tous mes amis spécialement « Amira » et « Aya »,*

*Fatma Zohra*

**الملخص:** الهدف من هذا العمل هو اقتراح نظام ذكي يساعد في إدارة جمع النفايات المنزلية بالاستناد إلى انترنت الاشياء. وانشاء شبكة أجهزة الاستشعار اللاسلكية لجمع معدلات ملء نقاط التفريغ. واستخدام الخوارزميات الذكية لاختيار نقاط الجمع وفقاً لثلاثة معايير: سعة شاحنة الجمع، وأولوية نقاط التفريغ، وإيجاد اقل مسار للجمع. تم توفير واجهة الآلة البشرية من أجل الإشراف الفوري على معدلات نقاط التفريغ وحركة الشاحنات.

**الكلمات المفتاحية:** شبكة المستشعرات اللاسلكية، انترنت الأشياء، النود راد، جمع النفايات المنزلية، تحسين.

**Abstract :** The aim of this work is to propose an intelligent IoT-based system to assist in the management of household waste collection. A network-based system of wireless sensors is set up to collect the fill rates of the discharge points. Intelligent algorithms are used to select collection points according to three criteria: capacity of collection trucks, priority of discharge points and minimization of collection path. A Man Machine Interface (HMI) is implemented for real-time monitoring of discharge point rates and truck movement.

**Key words :** WSN, IoT, Node-RED, house hold waste collection ,optimization.

**Résumé :** L'objectif de ce travail est la proposition d'un système intelligent d’aide à la gestion de la collecte des déchets ménagers à base d'IoT. Un système à base de réseau de capteurs 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 :** RSCF, IoT, Node-RED, collecte de déchets ménagers, optimisation.



# Sommaire



# Sommaire

SOMMAIRE.....I

LISTE DES FIGURES.....III

LISTE DES TABLEAUX.....V

LISTE D'ABREVIATION.....VI

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

**CHAPITRE I : GENERALITES SUR LES DECHETS**

I.1 INTRODUCTION ..... 3
I.2 GENERALITES SUR LES DECHETS ..... 3
*I.2.1 Définition* ..... 3
*I.2.2 Types des déchets* ..... 3
*I.2.3 Caractérisation des déchets ménagers* ..... 4
I.3 GESTION DES DECHETS ..... 5
I.4 COLLECTE ..... 5
*I.4.1 Définition* ..... 5
*I.4.2 Système de collecte* ..... 6
*I.4.3 Méthode de collecte* ..... 7
*I.4.4 Planification des itinéraires* ..... 8
*I.4.5 Routage des véhicules* ..... 9
*I.4.6 Problème de modélisation* ..... 10
*I.4.7 Risques lies aux déchets solides* ..... 11
I.5 GESTION DES DECHETS EN ALGERIE ..... 12
*I.5.1 Le problème de gestion* ..... 12
*I.5.2 La production des déchets* ..... 12
*I.5.3 Les méthodes de la gestion des déchets* ..... 13
*I.5.4 Acteurs de la gestion* ..... 15
*I.5.5 Importance de la gestion* ..... 16
I.6 CONCLUSION ..... 16

**CHAPITRE II : MATERIELS ET SOFTWARES UTILISES**

II.1 INTRODUCTION ..... 17
II.2 LOGICIELS ..... 18
*II.2.1 Internet des objets* ..... 18
*II.2.2 Logiciel Arduino* ..... 23
*II.2.3 PYTHON* ..... 24
*II.2.4 Node-RED* ..... 24
II.3 MATERIELS ..... 26
*II.3.1 Arduino* ..... 26
*II.3.2 Arduino uno* ..... 26
*II.3.3 Raspberry Pi* ..... 27
*II.3.4 Capteur ultrason HC-SR04* ..... 28
*II.3.5 Module Nrf24L01* ..... 30
*II.3.6 RESEAUX DE CAPTEURS SANS FILS (WSN)* ..... 32
*II.3.7 GPS* ..... 33

II.4 ALGORITHMES D'OPTIMISATIONS ..... 34
*II.4.1 Algorithme du sac à dos ..... 34*
*II.4.2 Principe de fonctionnement de l'algorithme KP ..... 34*
*II.4.3 Le problème du voyageur de commerce par recuit simulé ..... 35*
*II.4.4 Le recuit simulé ..... 35*
*II.4.5 Principe de fonctionnement de l'algorithme SA ..... 35*
*II.4.6 Domaine d'application ..... 36*
*II.4.7 Exemple ..... 36*
II.5 CONCLUSION ..... 37

## CHAPITRE III : DEVELOPPEMENT ET REALISATION PRATIQUE

III.1 INTRODUCTION ..... 38
III.2 CAHIER DE CHARGE ..... 38
III.3 DEFINITION DE LA ZONE DE COLLECTE ..... 40
III.4 MISE EN PLACE DUN RESEAU DE CAPTURS SANS FILS ..... 41
*III.4.1 Capteur ultrason ..... 41*
*III.4.2 Nrf 24L01 ..... 43*
III.5 COLLECTE ET ENVOI DES DONNEES ..... 45
*III.5.1 Protocole de communication ..... 45*
*III.5.2 Le nœud principal ..... 47*
*III.5.3 Le nœud capteurs ..... 48*
III.6 SUPERVISION ET ALGORITHMES D'OPTIMISATION ..... 48
*III.6.1 GPS NEO 6M ..... 49*
III.7 DETERMINATION DU CHEMIN OPTIMAL ..... 52
*III.7.1 Algorithme du sac à dos ..... 53*
*III.7.2 Algorithme d'optimisation SA ..... 55*
*III.7.3 Etude comparatif ..... 57*
III.8 INTERFACE IHM ..... 58
*III.8.1 Présentation de l'interface ..... 58*
*III.8.2 Installation des nœuds ..... 58*
*III.8.3 Choix de mode de contrôle ..... 59*
III.9 REALISATION ET TEST ..... 61
III.10 CONCLUSION ..... 64

**CONCLUSION GENERALE ..... 65**

**BIBLIOGRAPHIE ..... 67**

# Liste des figures

Figure I-1 : Phases de collecte ..... 7
Figure I-2 : Transmission des pathogènes ..... 11
Figure I-3 : Production des déchets en Algérie ..... 13
Figure II-1 : IoT connecte les objets ..... 18
Figure II-2 : Evolution de l'IoT ..... 19
Figure II-3 : Architecture de l'IoT ..... 20
Figure II-4 : Domaines de l'IoT ..... 21
Figure II-5 : Dimension de l'IoT ..... 21
Figure II-6 : Interface du logiciel Arduino ..... 23
Figure II-7 : Interface du Node-RED ..... 25
Figure II-8 : Carte Arduino uno ..... 26
Figure II-9 : Composantes d'une carte Arduino ..... 27
Figure II-10 : Carte Raspberry Pi ..... 28
Figure II-11 : Composants d'une carte Raspberry ..... 28
Figure II-12: Ultrason HC-SR04 ..... 29
Figure II-13 : Princpie de fonctionement d'un capteur ultrason ..... 30
Figure II-14 : Module Nrf24L01 ..... 31
Figure II-15 : Composantes du module Nrf ..... 31
Figure II-16 : Gps NEO-6M ..... 33
Figure II-17 : Puce GPS NEO-6M ..... 34
Figure II-18 : L'organigramme de SA ..... 36
Figure II-19 : Coordonnés des points et le chemin optimale ..... 37
Figure III-1 : Schéma générale du systeme ..... 39
Figure III-2 : Etapes à suivre ..... 40
Figure III-3 : Zone de collecte ..... 40
Figure III-4 : Fonctionnement de capteur ..... 41
Figure III-5 : Matériel utilisé ..... 42
Figure III-6 : Schéma de montage et le montage réel ..... 42
Figure III-7 : Résultat du moniteur série ..... 43
Figure III-8 : Branchement du maitre/esclave et le montage réel ..... 44
Figure III-9 : Fonctionnement de WSN ..... 45
Figure III-10 : Communication maitre/esclave ..... 46
Figure III-11 : Communication du Nrf ..... 47
Figure III-12 : Données collectés de l'esclave ..... 47
Figure III-13 : Données envoyés au maitre ..... 48
Figure III-14 : Fonctionnement de GPS ..... 48
Figure III-15 : Matériel utilisée ..... 49
Figure III-16 : Schéma du montage GPS et le montage réel ..... 49
Figure III-17 : Affichage du moniteur série ..... 50
Figure III-18 : Affichage du moniteur série ..... 51
Figure III-19 : Régions choisis ..... 53

Figure III-20 : Résultat de l'algorithme KP dans la région 1 ..... 54
Figure III-21 : Résultat de l'algorithme KP dans la région 2 ..... 54
Figure III-22 : Résultat de l'algorithme SA dans la région 1 ..... 55
Figure III-23 : Résultat de l'algorithme SA dans la région 2 ..... 56
Figure III-24 : Chemin optimal des deux régions ..... 56
Figure III-25 : Histogramme de région 1 ..... 57
Figure III-26 : Histogramme de région 2 ..... 57
Figure III-27 : Node-RED ..... 58
Figure III-28 : Installation des nœuds ..... 59
Figure III-29 : Choix de mode de control ..... 59
Figure III-30 : Configuration interne de mode de contrôle ..... 60
Figure III-31 : Réalisation finale ..... 61
Figure III-32 : Flux d'affichage de taux ..... 62
Figure III-33 : Configuration du nœud media ..... 62
Figure III-34 : Configuration des nœuds ..... 63
Figure III-35 : Interface IHM réalisé ..... 64

# Liste des tableaux

Tableau II-1 : caractéristiques de la carte Arduino uno ..... 27
Tableau II-2 : caracteristiques d'un capteur ultrason ..... 29
Tableau II-3 : Caractéristique de nRF ..... 31
Tableau II-4 : Pins de nRF24L01 ..... 32
Tableau III-1 : branchement du capteur avec Arduino ..... 42
Tableau III-2 : branchement du Nrf avec Arduino ..... 44
Tableau III-3 : branchement du GPS avec arduino..... 49
Tableau III-4 : Distance entre les points de collecte..... 52

# Liste des Abréviations

| | |
|---|---|
| **3D** | 3 Dimensions |
| **ACK** | Acquittement |
| **AND** | Agence National des Déchets |
| **API** | Application Programming Interface |
| **AWC** | Alternating Weekly Collecte |
| **BP** | Bande Passante |
| **CCCC** | Convention Cadre sur les Changements Climatiques |
| **CE** | Chip Enable |
| **CET** | Centre d'Enfouissement Technique |
| **DEW** | Direction de l'Environnement de Wilaya |
| **DMA** | Déchets Ménagers et Assimilés |
| **DOP** | Dilution of precision |
| **DSM** | Déchets Solides Municipaux |
| **GPS** | Global Positioning System |
| **HTML** | HyperText Markup Language |
| **IBM** | International Business Machine |
| **IDE** | Integrated Development Environment |
| **IHM** | Interface Homme Machine |
| **IOT** | Internet Of Things |
| **IP** | Internet Protocol |
| **ISM** | Industrielle, scientifique et médicale |
| **JS** | JavaScript |
| **JSON** | JavaScript Object Notation |
| **KP** | Knapsack problem |
| **M2M** | Machine To Machine |
| **MCU** | Microcontrôleur |
| **MISO** | Master In Slave Out |
| **MOSI** | Master Out Slave In |
| **OC** | Objet Connecté |
| **OCE** | Objet Connecté Enrichi |
| **PED** | Pays En Développement |
| **RCSF** | Réseaux de Capteurs Sans Fils |
| **SA** | Simulated annealing |
| **SCK** | Serial Cloc |
| **SIG** | systèmes d'information géographique |
| **TSP** | Traveling Salesman Problem |
| **TTFF** | Time To First Fix |
| **UIT** | Union Internationale des Télécommunication |
| **USB** | Bus Informatique en Série |
| **WAN** | Wide Area Network |
| **WCA** | Waste Collection Authorities |
| **WSN** | Wireless Sensor Network |



# 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 le voisinage 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 [2].

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 [3].

Pour les villes intelligentes, la programmation dynamique en ligne et le routage des camions de ramassage des ordures peuvent être inclues dans l'opération de la collecte des déchets solides.

Cette dernière doit prendre en compte deux principaux problèmes :

- Quand collecter les déchets dans les poubelles (la programmation) ?
- Le choix de l'itinéraire à suivre par les camions de ramassage des ordures (Le routage).

Le système de gestion des déchets activé par l'IoT indique le niveau des poubelles à tout moment. Il optimise l'itinéraire de collecte des déchets, et réduit à la fin la consommation de carburant. Il permet aux collecteurs de déchets de planifier leur calendrier de ramassage quotidien/hebdomadaire [4].

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 de présenter les différents concepts et de donner une idée générale sur la gestion des déchets en Algérie tout en passant par 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.

À la fin de ce travail, nous conclurons par un récapitulatif sur l'ensemble des résultats obtenus et mettrons en avant les éléments d'efficacité du notre système de gestion des déchets, ses limites et ses contraintes.



# Chapitre I

# Généralités sur la collecte des déchets



# I.1 INTRODUCTION

Les déchets sont considérés parmi les dangereux problèmes de l'environnement à cause de leur contribution à la pollution de l'atmosphère, de sol, la pollution des eaux et d'autre, ainsi que la propagation de différents maladies et épidémies. La gestion des déchets est un pas essentiel pour minimiser ce problème, elle concerne toutes les opérations de production jusqu'à l'élimination des déchets y compris la collecte.

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

# I.2 GENERALITES SUR LES DECHETS

## I.2.1 Définition

Un déchet est défini comme " Tout résidu d'un processus de production, de transformation, ou d'utilisation, toute substance, matériau produit ou plus généralement tout bien meuble abandonné ou que son détenteur destine à l'abandon et qui sont de nature à produire des effets nocifs sur le sol, la flore et la faune, à dégrader les sites ou les paysages, à polluer l'air ou les eaux, à engendrer des bruits ou des odeurs, et d'une façon générale, à porter atteinte à la santé de l'homme et à l'environnement."[1].

Et les déchets ménagers et assimiles sont : "tous déchets issus de ménagers ainsi que les déchets similaires provenant des activités industrielles commerciales, artisanales et autres qui, par leur nature et leur composition, sont assimilables aux déchets ménagers."

La notion de déchet varie d'un pays à un autre, et ce terme peut prendre de nombreuses définitions, selon l'aspect considéré [5].

## I.2.2 Types des déchets

- **Déchets organiques :** Ce sont les ordures dérivées des déchets organiques. Ils sont générés dans les résidences, les restaurants et les établissements commerciaux qui travaillent avec des aliments.

- **Déchets recyclables :** utilisés dans la fabrication de matières premières ou la transformation en d'autres éléments. Ils sont générés dans les résidences, les entreprises et les industries, et doivent être séparés afin que les collecteurs les rassemblent et les livrent au traitement final dans des entreprises de recyclage.

- **Déchets industriels :** Ce sont les résidus, issus du processus de production des industries. Ils sont généralement composés de restes de matières premières destinées à être recyclées ou réutilisées dans le processus industriel.

- **Déchets hospitaliers :** Il s'agit des déchets provenant des hôpitaux et des cliniques médicales qui peuvent présenter une contamination, et transmettre des maladies aux personnes qui entrent en contact avec eux.

- **Déchets commerciaux :** produits par les établissements commerciaux, tels que les magasins de vêtements, les jouets, les appareils électroménagers.

- **Déchets verts :** c'est la matière qui résulte, de la taille des arbres, des branches, des troncs, et des feuilles qui tombent dans les rues, ainsi que de matières organiques.

- **Déchets électroniques :** générés par l'élimination des produits électroniques grand public qui ne fonctionnent plus ou qui sont devenus obsolètes.

- **Déchets nucléaires :** produits par les centrales nucléaires et très dangereux à cause des éléments radioactifs, et doivent être traités selon des normes de sécurité strictes [2] .

### I.2.3 Caractérisation des déchets ménagers

L'étude de la composition des déchets est importante pour une bonne gestion et pour estimer la quantité des matériaux produits, identifier leur source de génération et leurs propriétés physiques, chimiques et thermiques, et de faciliter le design des équipements des procédés de traitement.

La caractérisation des déchets n'est pas universelle, mais elle peut être selon ces paramètres : matériaux, paramètres physiques, chimiques ou biologiques et composition élémentaire.

La mise en place de données fiables sur la caractérisation des déchets est un préalable à toute approche de gestion efficiente des déchets.

Ces informations permettent :

- L'évaluation de la masse de déchets générés et le suivie de son évolution en vue de planifier et de définir les stratégies futures en matière de gestion et de traitement.
- L'évaluation de potentiel de valorisation ou les besoins pour le traitement et l'enlèvement des déchets.
- L'optimisation de mode de traitement en connaissant la composition des déchets.
- De prédire les émissions des déchets dans l'environnement et atténuer leur impact [1].

## I.3 GESTION DES DECHETS

Le département des affaires économiques et sociales des nations unies, a déclaré que la population urbaine dans le monde devrait atteindre 66 % en 2050, ce qui entraînera une augmentation du taux de production de déchets dans les villes.

Les déchets solides municipaux (DSM), augmentent encore plus vite que le taux d'urbanisation. Environ 1,3 milliard de tonnes de déchets solides ont été généré par le monde entier en 2012. Avec la croissance démographique rapide, ce taux devrait atteindre 2,2 milliards de tonnes en 2025 [6].

La gestion des déchets concerne toutes les options dont dispose la société pour gérer la transition de la valeur des biens et des matériaux du positif au négatif. Elle permettra en fin de compte de réduire les déchets en un bien à valeur nulle ou de les recycler en les transformant physiquement et/ou chimiquement de manière à qu'ils redeviennent une matière première pour de nouveaux produits [7].

## I.4 COLLECTE

### I.4.1 Définition

La collecte des déchets constituent une partie très importante du système de gestion des déchets, et ce pour plusieurs raisons :

- Constitue l'interface organisationnelle entre ceux qui produisent les déchets et le système de gestion des déchets, et elle détermine le succès du système à traiter les déchets produits et à éviter leur mise en décharge incontrôlée.

- C’est l'interface technique entre les déchets générés et le système de traitement et d'élimination et, peut déterminer les technologies réalisables et efficaces pour ce traitement.
- représente deux tiers de l'ensemble des coûts liés à la gestion des déchets [8].

## I.4.2 Système de collecte

Il n'y a pas tant de décennies, dans les zones moins urbanisées, les ordures et autres déchets ménagers étaient brûlés ou éliminés sur les propriétés résidentielles mais avec la fermeture de ces décharges et l'évolution des pratiques, l'enlèvement des ordures est devenu plus omniprésent.

Il existe plusieurs types de systèmes de collecte sélective, qui varient selon les types de matériaux recyclables. Cela découle des différentes caractéristiques des ménages dans une zone et des interrelations entre les divers systèmes de collecte, les méthodes de tri et la fréquence des collectes. Au Royaume-Uni, la collecte hebdomadaire alternée (AWC) est une pratique de plus en plus courante, chaque foyer ayant ses déchets recyclables et ses déchets résiduels collectés en alternance. Un système alternatif commun consiste à collecter chaque semaine les déchets résiduels et les déchets recyclables.

Les matières recyclables peuvent être rassemblées en une seule fois dans un seul véhicule, à séparer ultérieurement, ou être séparées par le ménager pour être chargées dans des compartiments séparés dans un véhicule. Elles peuvent également être mélangées aux déchets résiduels et collectées par le même véhicule dans des sacs de différentes couleurs.

Les autorités de collecte des déchets (WCA) font une collecte séparée de déchets volumineux (meubles), de déchets verts ou de déchets dangereux avec des frais supplémentaires pour le client, ainsi que des collecte de poubelles communales situées dans des lieux publics tels que des parkings, des supermarchés et où il y a une forte densité, et des poubelles publiques situées dans les rues commerçantes, les parcs, qui doivent être vidées fréquemment. Ces collections sont normalement séparées des collections des ménages, en raison de leur capacité.

L'information clé requise est le taux de remplissage prévu de chaque bac pour permettre la conception de rondes de collecte efficaces et pour éviter que le bac ne soit rempli avant la prochaine collecte. Le taux de remplissage prévu peut être estimé à partir de données

historiques, ou les bacs pourraient être équipés de capteurs pour détecter quand ils deviennent pleins [9].

### I.4.3 Méthode de collecte

Le processus de collecte des déchets est un processus en plusieurs phases, mais il est possible de définir cinq phases distinctes, comme le montre la figure I-1.

Tout d'abord, le propriétaire doit transférer les déchets dans la poubelle, qui peut se trouver à l'intérieur ou à l'extérieur de la maison. La deuxième phase consiste à déplacer la poubelle jusqu'au camion, ce qui est effectué par l'équipe de collecte.

Le camion doit collecter les déchets de nombreux foyers de la manière la plus efficace possible, et lorsqu'il est plein (ou en fin de journée), il doit se rendre à l'installation de récupération des matériaux, au point d'élimination ou au site de transfert. La cinquième phase du système de collecte concerne l'emplacement de la destination finale (installation de récupération des matériaux, site d'élimination ou station de transfert).

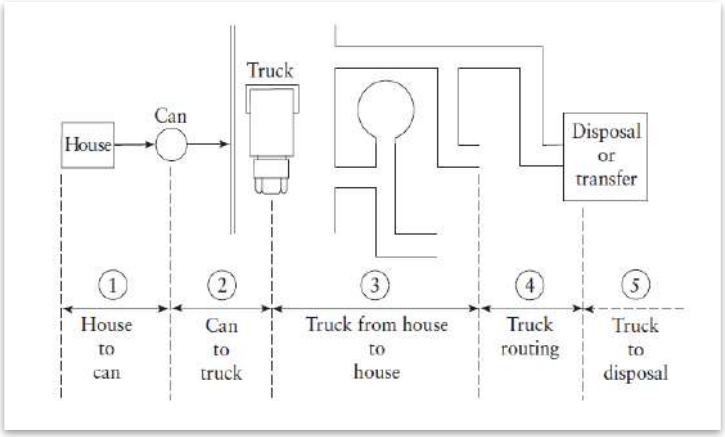



Figure I-1 : Phases de collecte [10]

- **Phase 1 de la maison au bac** : La phase de la maison à la poubelle n'a pratiquement reçu aucune attention ou préoccupation de la part des chercheurs ou du gouvernement, car les efficacités et les commodités obtenues ici sont personnelles et non collectives.

- **Phase 2 du bac vers le camion** : le système le plus courant pour acheminer les déchets solides dans le camion consistait pour les collecteurs à se rendre dans l'arrière-cour, à vider les poubelles dans de grands conteneurs et à les transporter jusqu'au camion en

attente. Ce système était coûteux en dollars pour la communauté, et aussi en termes de taux de blessures extrêmement élevé pour les collecteurs.

- **Phase 3 camion d'une maison à l'autre** : Une fois que les déchets sont dans le camion, ils sont compactés et le camion se déplace de maison en maison. Plus le ratio de compactage est élevé, plus le camion peut transporter de déchets avant qu'il ne se rendre à la décharge.

- **Phase 4 le routage des camions** : L'acheminement d'un véhicule dans la zone de collecte est appelé micro routage pour le distinguer de l'acheminement vers le site d'élimination (phase 5).

  L'objectif ici est de minimiser le nombre d'impasses, c'est-à-dire le fait de repasser par un point de collecte après un ramassage précédent. L'itinéraire le plus efficace est ce qui comporte le moins de temps possible.

- **Phase 5 du camion à l'élimination** : Pour les petites communautés isolées, le problème de macro routage se réduit à trouver la route la plus directe entre la fin de l'itinéraire et le site d'élimination. Pour les systèmes régionaux ou les grandes zones métropolitaines, le macro-acheminement, peut être utilisé de manière très avantageuse. Les techniques disponibles, appelées modèles d'allocation, sont basées sur le concept de minimisation d'une fonction objectif soumise à des contraintes. Le problème d'allocation le plus simple est l'affectation de l'élimination des déchets solides à plus d'un site d'élimination. La solution est évidente : les sources les plus proches sont attribuées en premier, suivies des sources les plus proches suivantes, et ainsi de suite. Avec des systèmes plus complexes, il devient nécessaire d'utiliser des techniques d'optimisation appropriées comme l'algorithme de transport [10].

### I.4.4 Planification des itinéraires

Les itinéraires de collecte peuvent être optimisés en minimisant les distances à parcourir et en maximisant le chargement des véhicules. Les déplacements excessifs sont coûteux et nuisibles à l'environnement. En se basant sur les bases de données routières, les systèmes d'information géographique (SIG), les études temporelles des processus de travail dans la collecte et les données sur les taux actuels de production de déchets, les modèles informatiques peuvent être

d'une grande aide pour établir les itinéraires de collecte des déchets pour des schémas impliquant de grandes distances et nouvel itinéraire chaque jour.

D'autres aides modernes à la gestion efficace sont le téléphone portable, le système de positionnement global (GPS) par satellite et le système de pilotage d'itinéraire par GPS. Le GPS indique au chauffeur sa position réelle, et offre au responsable un aperçu en temps réel de la position de l'ensemble de la flotte de camions.

Lors de la collecte, il faut bien sûr tenir compte de l'intensité du trafic, du stationnement en bordure de trottoir, etc. Dans le centre d'une grande ville, les collectes effectuées pendant la nuit ou très tôt le matin peuvent être réalisées très rapidement et avec un minimum de nuisance pour le reste du trafic [11].

### I.4.5 Routage des véhicules

La théorie du routage et de l'ordonnancement des véhicules est vaste et couvre de nombreux types de problèmes et de situations différents.

Si certains algorithmes proposés dans la littérature peuvent être appliqués directement au problème de la collecte des déchets, certaines caractéristiques de la collecte peuvent limiter leur utilisation. L'une de ces caractéristiques est la nécessité pour le véhicule de collecte d'effectuer plus d'une visite à un site d'élimination des déchets pendant la tournée.

D'autres facteurs qui peuvent être pris en considération sont les suivants :

- Éviter les routes principales aux heures de pointe
- Éviter les écoles aux heures d'ouverture et de fermeture
- Les restrictions du réseau routier relatives au poids, à la hauteur, à la rotation des véhicules ou à d'autres restrictions d'accès.
- Si l'accès se fait par l'avant ou l'arrière de la propriété.
- Collecte de chaque côté d'une rue séparément lorsqu'il ne serait pas sûr pour l'équipe de faire des allers retours dans la rue.
- Éviter les mouvements de virage gênants - par exemple, pour les pays qui conduisent du côté droit de la route, certains virages à gauche peuvent être difficiles en raison de la circulation en sens inverse.

- Pentes raides : du point de vue de la consommation de carburant et des émissions, il est préférable de monter les pentes raides vers le début de la tournée, lorsque le véhicule n'est pas très chargé, et de collecter les déchets sur les deux côtés de la rue pendant que le véhicule descend la pente, pour la sécurité, la facilité et la rapidité de la collecte et de réduire l'usure du véhicule.
- Les contraintes de temps comprennent les heures d'ouverture de la déchèterie et les heures de travail du personnel [9].

### I.4.6 Problème de modélisation

Les modèles de routage et de programmation des véhicules sont des simplifications de la réalité. Pour la collecte des déchets, de nombreux facteurs interagissent de manière complexe, et ne peuvent pas être complètement énumérées ou correctement paramétrées. Certaines des incertitudes de la modélisation peuvent être attribuées à des valeurs par défaut, à la rareté des données, telles que :

La définition des points de collecte (par exemple, la rue, code postal), ce qui contribue à la grossièreté du modèle.

- Spécification du réseau routier disponible, y compris toute restriction de poids, de hauteur, de mouvement, accès et autres restrictions.
- Les hypothèses de vitesse de déplacement.
- Hypothèses concernant le volume de déchets à collectés.
- Hypothèses concernant le temps nécessaire pour collecte des déchets.

Souvent, la précision et la représentativité des modèles souffrent d'un manque de données détaillées disponibles et du coût d'obtention de ces données.

Les erreurs et l'incertitude se propagent c’est pourquoi les itinéraires et les horaires produits par les modèles doivent être vérifiés et modifiés par un gestionnaire expérimenté disposant de connaissances locales fiables avant leur mise en œuvre [9].

## I.4.7 Risques lies 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 comme le montre la figure I-2.

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 [1], [12].

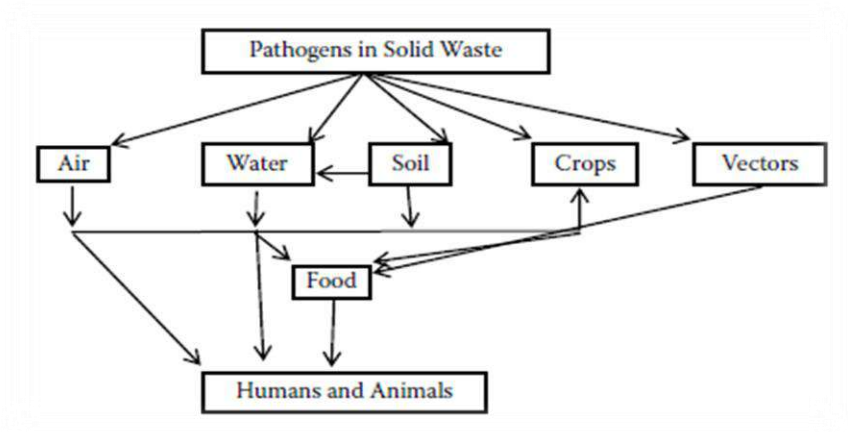



Figure I-2 : Transmission des pathogènes [12]

# I.5 GESTION DES DECHETS EN ALGERIE

## I.5.1 Le problème de gestion

L'Algérie connait une croissance des déchets urbains et industriels et une intensification de pollutions. Ils ont dénombrés 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. 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 récupéré.

  Ce qui nous mène donc vers une détérioration irréversible de l'environnement et la vie des humains [6].

## I.5.2 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 [13].

La figure I-3 montre la production des déchets par rapport à la densité de population.

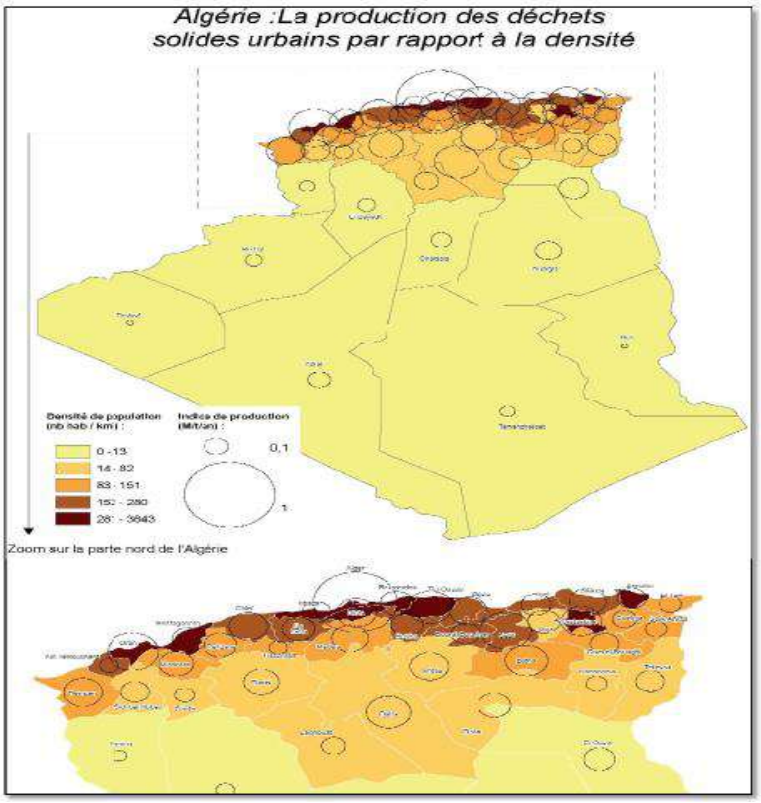



Figure I-3 : production des déchets en Algérie [14]

## I.5.3 Les méthodes de la gestion des déchets

### I.5.3.1 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 [14].

### I.5.3.2 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 [14].

### I.5.3.3 Tri

C'est la séparation des déchets selon leur nature en vue de leur traitement, par exemple le papier, plastique [14].

### I.5.3.4 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 [14].

### I.5.3.5 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 [14].

### I.5.3.6 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 [14].

## I.5.4 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 [14].

### I.5.4.1 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 [14].

### I.5.4.2 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 suffisant 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 [14].

### I.5.4.3 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 [14].

### I.5.5 Importance de la gestion

Le gouvernement Algérien a mis en place une stratégie d'action qui prévient la pollution liée aux déchets solides, et conserve les sources d'énergie non renouvelable.

La nécessité du traitement des déchets est pour les raisons suivantes :

- Engagements de l'Algérie à la Convention Cadre sur les Changements Climatiques (CCCC) qui recommande de réduire les émissions des gaz à effet de serre dûx aux activités humaines et la production des déchets.
- protéger la santé à cause des diverses nuisances liées aux déchets.
- La lutte contre la dégradation du sol et des ressources en eau par les déchets.
- La maitrise de la gestion des déchets qui représentent un grand gisement d'économie à travers le recyclage et la valorisation.
- La création d'emplois dans la filière "déchets".
- Transformer une partie des déchets en compost représente une solution pour l'enrichissement des sols agricoles qui sont pauvres en matières organiques.
- Récupérer le méthane produit par les déchets enfouis et de le bruler et l'utiliser comme une énergie renouvelable [6].

## I.6 CONCLUSION

Collecter les déchets exige une organisation, planification et optimisation. Sans ces exigences la gestion des déchets peut être anarchique ce qui peut engendrer un problème de santé publique ; une baisse des moyens humains et matériels affectés à la préservation de la qualité de l'environnement ; une saturation des décharges ; une baisse des coûts d'élimination à la suite de la mise en décharges sauvages et une augmentation du ratio par tête des déchets produits.

La gestion des déchets solides en Algérie rencontre de grandes difficultés, la lenteur administrative, le manque de contrôle, l'absence d'information, le non-respect de la réglementation en vigueur et la mauvaise exploitation des décharges communales.



# Chapitre II

# Matériels et softwares utilisés



## II.1 INTRODUCTION

Aujourd'hui, grâce à la miniaturisation et le progrès technologiques, nous pouvons intégrer plusieurs objets multi capteurs et communicant sans fil à travers l'IoT. Ces objets peuvent interagir avec leur environnement, et captent les différentes données puis les transmettre vers un autre nœud centralisé ou bien recevoir des donnes (des actions) afin de réagir, cet ensemble de nœuds est appelé un réseau de capteurs sans fil.

Dans ce chapitre nous allons présenter la conception d'un système que nous proposons pour la mesure du taux de remplissage des bacs en utilisant un capteur ultrason et transmettre cette donnée vers le gestionnaire par un réseau de capteur sans fils, les différents logiciels et matériels utilisés sont présentés et cités comme suit :

❖ **Logiciels**

- Internet des objets « IoT »
- Arduino IDE
- Python
- Node-RED

❖ **Matériels**

- Arduino
- Raspberry Pi
- Réseaux capteurs sans fils
- Les capteurs (Ultrason - Module NRF24L01- GPS Neo-6m)

❖ **Les algorithmes d'optimisation**

- Algorithme de sac à dos
- Algorithme de recuit simulé avec exemple

# II.2 LOGICIELS

## II.2.1 Internet des objets

L'Internet et le web ont évolué et se transforment progressivement en hyper réseau formé par divers objets connectés grâce à la miniaturisation et le développement technologique et des multitudes de connexions entre ces objets, ce qui donne un double aspect : être connecté et communiquer d'une façon permanente dans le but de répondre aux besoins et aux exigences de l'utilisateur c'est ce qu'on appelle l'Internet des objets ou Internet of Things**.** Figure II-1 [15].




Figure II-1 : IoT connecte les objets [16]

### II.2.1.1 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 [17].

### II.2.1.2 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 terme 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 des 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 [15].

### II.2.1.3 Evolution de l'IoT

Dans les années 1990 les premiers objets connectés apparaissent, et les premières expérimentations d'appareils connectés à internet étaient dans les années 2000. En 2003, la population mondiale a augmenté jusqu'à 6,3 milliards d'individus et 500 millions d'appareils étaient connectes à Internet. Ce chiffre a atteint 6,8 milliards individu et 12,5 milliards appareils en 2010 à cause de l'apparition des smartphones et des tablettes et le nombre d'appareils connectés par personne est devenu supérieur à 1. Selon les estimations, 50 milliards d'appareils seront connectés à internet, la figure II.2 montre l'évolution de l'IoT entre 2003 et 2020 [16].

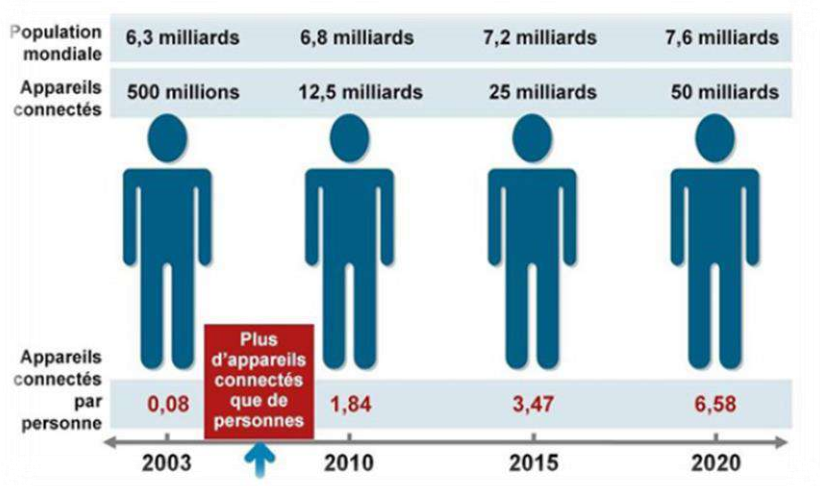



Figure II-2 : Evolution de l'IoT [16]

### II.2.1.4 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.

Les rôles de chacun sont présentés dans la figure II.3**.**

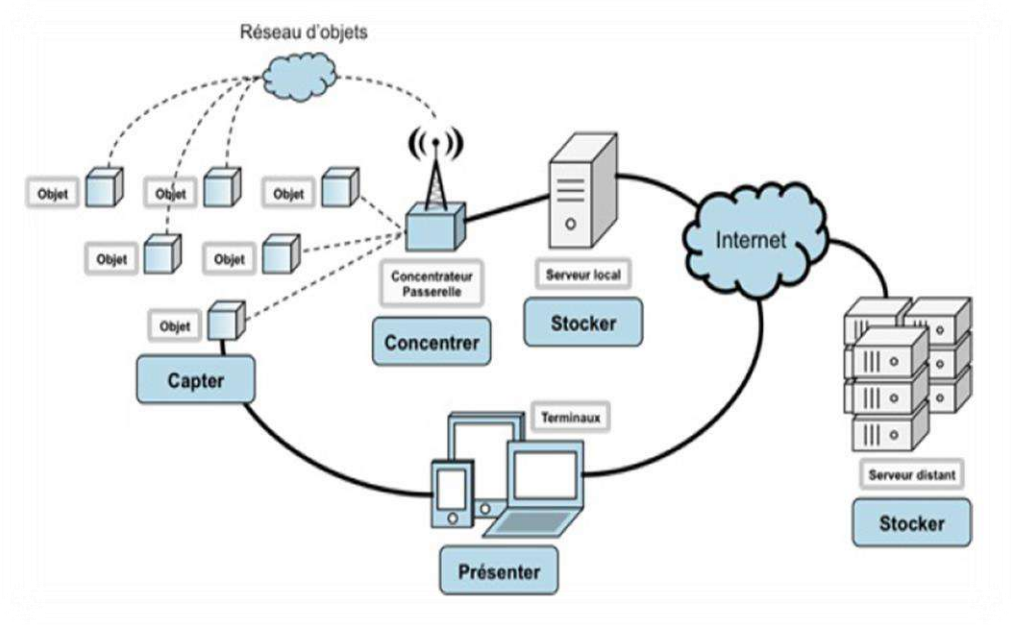



Figure II-3 : Architecture de l'IoT [16]

- **Capter :** c'est transformer une grandeur physique analogique en un signal numérique.
- **Concentrer :** interfacer un réseau spécialisé d'objet a 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.

Ces deux derniers processus n'apparaissent pas dans la figure [16].

### II.2.1.5 Domaines d'applications

Le rythme du développement de l'IoT semble assez rapide, avec des propositions continues de nouvelles approches, applications et scénarios d'utilisation, augmentant la présence de l'IoT dans des applications multiples et variées, et dans des aspects de la vie quotidienne. À ce jour, les dispositifs intelligents constituent la forme la plus visible de l'IoT, appliquée dans un large éventail de scénarios et de secteurs tels que les villes, l'industrie, le commerce, l'agriculture, la maison et la mobilité [17].

Les domaines d'applications de l'IoT illustrés dans la figure II-4

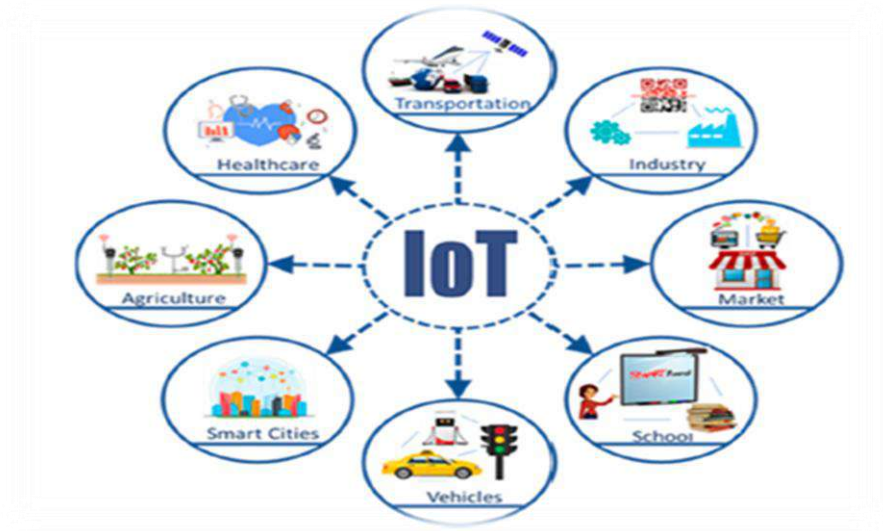



Figure II-4 : Domaines de l'IoT [2]

L'UIT reconnaît trois dimensions interdépendantes qui caractérisent les objets montré dans la figure II-5. Cela indique la polyvalence de l'IoT dans les domaines d'application qui diffèrent en termes d'exigences et de besoins des utilisateurs [17].

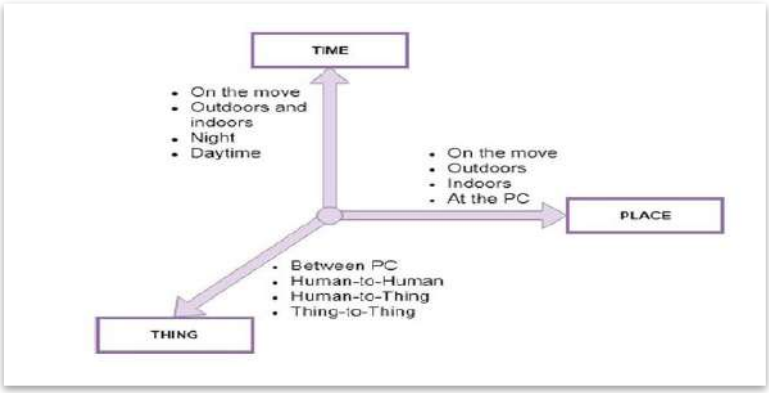



Figure II-5 : Dimension de l'IoT [17]

❖ **Quelques 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 lorsque 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 intelligents.

- **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 [18].

### II.2.1.6 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 définition 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 [18].

## II.2.2 Logiciel Arduino

### II.2.2.1 Description

Le logiciel de programmation de la carte Arduino appelé IDE Arduino, est une interface souple et simple, exécutable sur n'importe quel système d'exploitation. Lorsque le programme est tapé, il sera transféré et mémorisé dans la carte à travers le câble USB qui alimente la carte et transporte l'information en même temps [19].

La figure II-6 montre l'interface du logiciel Arduino




Figure II-6 : Interface du logiciel Arduino

### II.2.2.2 Logiciel Arduino IDE :

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.

L'IDE Arduino permet : d'éditer un programme croquis (ou sketch en Anglais), le compiler dans le langage « machine » de l'Arduino, ensuite téléverser ce programme dans la mémoire, et communiquer avec la carte Arduino grâce au terminal [19].

## II.2.3 PYTHON

### II.2.3.1 Présentation de python

Python est un langage développé par Guido Van Rossum,il est dynamique, extensible, et gratuit, permet une approche modulaire et orientée objet de la programmation [20].

Python dispose de nombreuses fonctionnalités intégrées au langage et des bibliothèques qui aident le développeur à travailler sur des projets particuliers. C'est un langage puissant, facile à apprendre et un langage de programmation interprété, les instructions sont transcrites en langage machine au fur et à mesure de leur lecture. D'autres langages (comme le C / C++) sont appelés langages compilés car, un logiciel spécialisé se charge de transformer le programme en langage machine avant l'exécuter [21].

### II.2.3.2 Caractéristiques de langage :

Parmi les caractéristiques de Python on cite :

- Python est gratuit.
- La syntaxe de Python est très simple.
- Python est portable, sur les différentes variantes d'Unix, OS et de Windows.
- La bibliothèque standard de Python, et les paquetages contribués, donnent accès à une grande variété de services : chaînes de caractères et expressions régulières, protocoles Internet, bases de données, et interfaces graphiques [20].

## II.2.4 Node-RED

### II.2.4.1 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 [22]**.**

### II.2.4.2 Description

Node-RED est un environnement de développement JavaScript open source basé sur Node.js, mis au point par des ingénieurs d'IBM et adapté au développement de systèmes IoT. C'est un environnement de programmation virtuel basé sur des processus qui crée des "flux de données" du capteur au Cloud en connectant le matériel et le logiciel.

Il est adapté à l'écriture de processus de données, ce qui facilite le traitement et peut être utilisé pour compiler facilement la logique de traitement des données et transférer les données traitées vers des systèmes de niveau supérieur (système de gestion d'entreprise, service en nuage) en quelques minutes ou les afficher immédiatement. Node-RED fournit une interface de tableau de bord qui vous permet de créer une interface spectaculaire sans avoir besoin de connaissances spéciales en HTML.

Node-RED contient des nœuds qui fournissent diverses fonctions. Les processus créés sont stockés en utilisant des objets JSON. Node-RED se compose de 3 éléments de base : le panneau de nœuds, le panneau de flux, le panneau d'information et de débogage. Il est essentiel pour l'environnement de créer et de configurer facilement des applications en temps réel. Grâce à sa flexibilité et à la création d'applications en peu de temps, il est excellent pour le prototypage avant d'investir des ressources importantes dans l'innovation [23].

La figure II.7 représente l'interface du Node-RED.

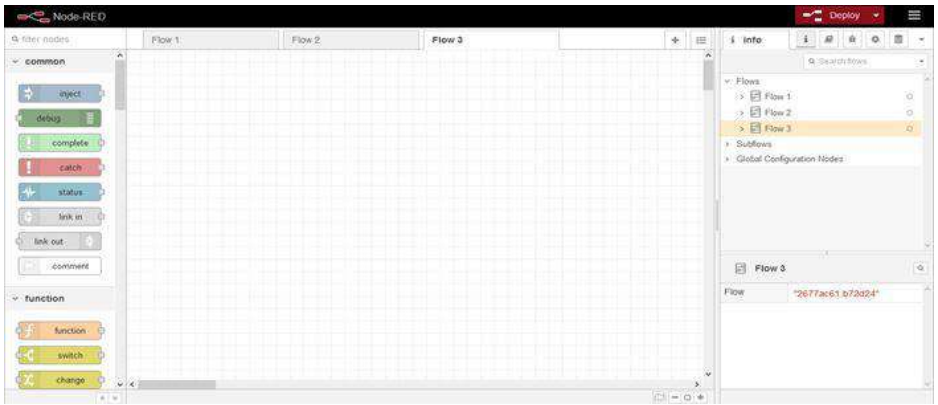



Figure II-7 : Interface du Node-RED

# II.3 MATERIELS

## II.3.1 Arduino

Les cartes Arduino doivent satisfaire les diverses exigences des utilisateurs et comme la forme, la taille et les possibilités de connexion jouent un rôle décisif dans le choix de la carte, les développeurs ont mis un vaste choix de cartes pour que chacun trouve le modèle qui répond à ses besoins. Certains utilisateurs veulent tester des nouveaux montages, d'autres l'utilise pour des projets plus ambitieux ou bien juste pour transmettre des signaux à travers les diodes clignotantes. La carte Arduino uno dispose d'un nombre suffisant de ports pour raccorder des capteurs ou des actionneurs, donc elle est convenable pour ces projets**.**il y a plusieurs types d'Arduino comme : Arduino mega 2560, Arduino nano [24].

## II.3.2 Arduino uno

« C'est un circuit intégré à base d'un microcontrôleur programmable qui peut analyser et produire des signaux électriques de façon à effectuer des tâches précises » [21].

La figure II-8 de la carte Arduino est montrée ci-dessous :

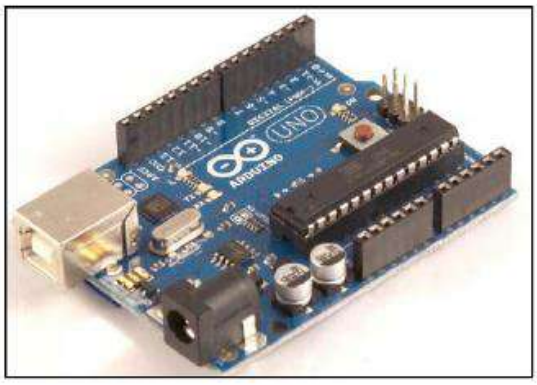


Figure II-8 : Carte Arduino uno [19]

### II.3.2.1 Description

La description de la carte Arduino uno dans la figure II-9 :

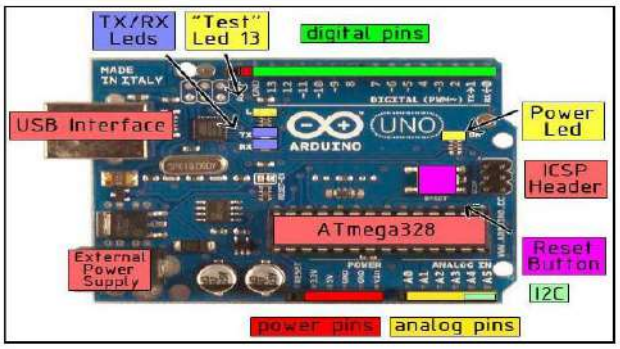



Figure II-9 : Composantes d'une carte Arduino [19]

### II.3.2.2 Caractéristiques

Les caractéristiques de la carte Arduino uno sont illustrées dans le tableau II.1

Tableau II-1 : caractéristiques de la carte Arduino uno [19]

| Caractéristiques | Valeur |
|---|---|
| Microcontrôleur | ATmega328 |
| Fréquence d'horloge | 16 MHz |
| Tension d'alimentation interne | 5 V |
| Tension d'entrée (recommandée) | 7-12 V |
| Tension d'entrée (limites) | 6-20 V |
| Ports numérique | 14 entrées et sorties (6 sorties commutables en MLI) |
| Ports analogique | 6 entrées analogiques |
| Courant max par broche d'E/S | 40 Ma |
| Courant max par broche 3,3V | 50 Ma |
| Mémoire | 32Ko FLASH ; 2Ko SRAM ; 1Ko EPROM |

## II.3.3 Raspberry Pi

### II.3.3.1 Définition

Raspberry est une carte mère d'un mini-ordinateur qui peut être branchée à n'importe quel périphérique (souris, clavier...). Cette carte est fabriquée pour aider à étudier les ordinateurs et pour représenter un moyen d'apprentissage de la programmation informatique en plusieurs langages. Elle est aussi capable de lire les vidéos à haute définition et même à installer des jeux vidéo. L'intérêt d'utiliser le Raspberry Pi est sa capacité d'interaction avec le monde extérieur

et d'exécuter plusieurs variantes du système d'exploitation libre et des autres logiciels compatibles [21].

La carte Raspberry est montrée par la figure II.10



Figure II-10 : Carte Raspberry Pi [21]

### II.3.3.2 Composants de Raspberry Pi

La figure II.11 représente les composants d'une carte Raspberry standard :

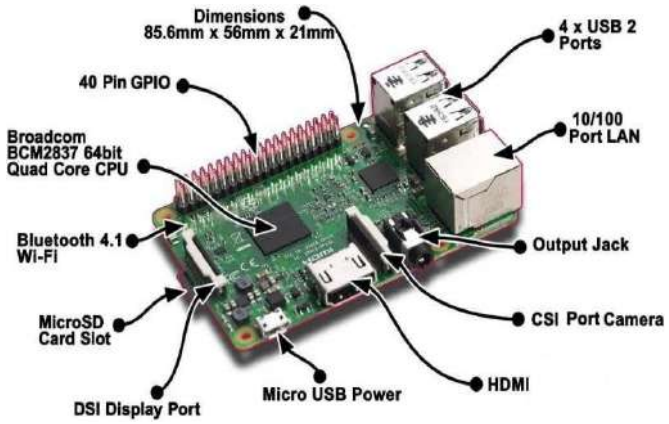



Figure II-11 : Composants d'une carte Raspberry [25]

## II.3.4 Capteur ultrason HC-SR04

### II.3.4.1 Définition

Le HC-SR04 est un capteur qui utilise les ultrasons pour déterminer la distance d'un objet de 2cm à 400cm. La mesure s'effectue sans contact et dispose d'une précision de 3mm dans les conditions optimales. Le module inclus un émetteur et un récepteur ultrason ainsi qu'un système de contrôle [19].

Il est montré dans la figure II-12




Figure II-12: Ultrason HC-SR04 [19]

### II.3.4.2 Caractéristiques

Les caractéristiques d'ultrason sont illustrées dans le tableau II-2 :

Tableau II-2 : caracteristiques d'un capteur ultrason [19]

| | |
|---|---|
| Nombre de pattes | 4 |
| Dimension | 45mm ×20mm× 15mm |
| Alimentation max | 5.5 V DC |
| Alimentation min | 4.4 V DC |
| Plage de mesure | 2cm a 400cm |
| Courant de fonctionnement max | 10Ma |
| Courant de fonctionnement min | 20Ma |
| Résolution de la mesure | 0.3 cm |
| Angle de la mesure | 15° |
| Largeur d'impulsion sur l'entrée de déclenchement | 10µs |
| La fréquence des ultrasons | 40KHZ |
| TRIG | Entrée de déclenchement de la mesure (trigger IN PUT) |
| ECHO | Sortie de masse donnée en écho (ECHO OUT PUT) |
| GND | Masse de l'alimentation |

### II.3.4.3 Principe de fonctionnement

D'abord le module émet une onde sonar sur l'entrée TRIG, composée d'une série de 8 impulsions à 40 kHz. Ensuite, l'onde voyage vers l'objet et revient après avoir été réfléchit par ce dernier, la sortie ECHO passe au niveau haut durant toute cette période [19].

Le principe de fonctionnement est comme le montre la figure II-13 :

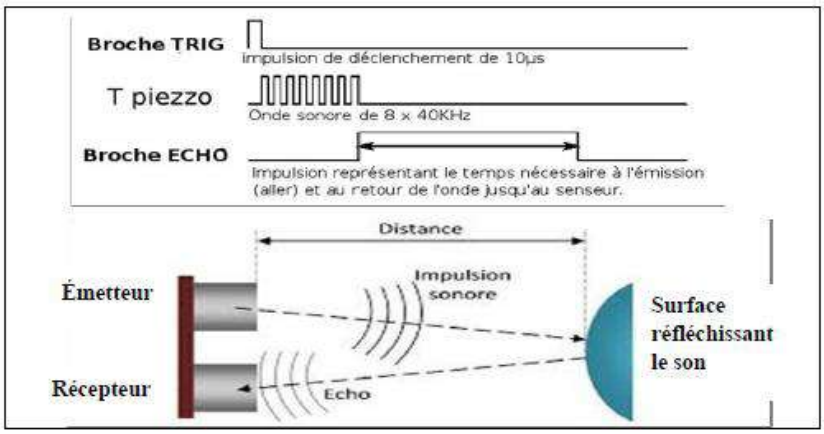



Figure II-13 : Princpie de fonctionement d'un capteur ultrason [19]

- **Calcul de distance**

Distance = Vitesse * Temps

Soit « d » la distance entre le capteur à ultrasons et Target

La distance totale parcourue par l'onde d'ultrason : 2d

Vitesse du son dans l'air : 340 m / s = 34000 cm / s

Ainsi d = (34000 * Time) / 2 [26].

## II.3.5 Module Nrf24L01

### II.3.5.1 Définition

Le nRF24L01 est un émetteur-récepteur 2,4GHz mono puce avec un moteur de protocole de bande de base intégré, conçu pour les applications sans fil à très faible consommation. Il est conçu pour fonctionner dans la bande de fréquence ISM mondiale de 2,400 à 2,4835 GHz. Un MCU (microcontrôleur) et très peu de composants passifs externes sont nécessaires pour concevoir un système radio avec le nRF24L01 [27].

La figure II.14 montre le Nrf24L01



Figure II-14 : Module Nrf24L01 [27]

### II.3.5.2 Caractéristiques

Le tableau II-3 représente les caractéristiques du module nRF :

Tableau II-3 : Caractéristique de nRF [28]

| | |
|---|---|
| Fonctionner dans la bande ISM | 2,4 GHz |
| Protocole de communication | Enhanced Shock Burst (ESB). |
| Débit de transmission des données | 256 Kbps/ 1 Mbps/ 2 Mbps. |
| La portée d'émission | 70 ~100 mètres. |
| La taille | 15mm * 29mm * 0.8mm. |
| Les pins I/O utilisable | 8 |
| Alimentation | 1.9V ~ 3.6V (Non 5V !) |
| Courant nécessaire de travail | 13.5Ma |
| Mode de travail | mode RX / mode TX |

### II.3.5.3 Différents composants

Les différents composants de module nRF représenté dans la figure II-15 :




Figure II-15 : Composantes du module Nrf [29]

Et pour les différents pins de module nRF dans le tableau II-3 :

Tableau II-4 : Pins de nRF24L01 [29]

| | |
|---|---|
| **GND** | la broche de terre. |
| **VCC** | Alimentation +3V (DC) |
| **CE** | il active le mode RX/TX, c.à.d. le module soit en mode d'envoie ou en mode d'écoute. |
| **CSN** | il active la réponse aux commandes SPI (Serial Perepheral Interface). |
| **SCK** | L'horloge de l'interface SPI (jusqu'à 10MHz). |
| **MOSI** | l'entrée SPI du nRF24L01. |
| **MISO** | la sortie SPI du nRF24L01. |
| **IRQ** | alerte si le paquet est envoyé ou reçu. |

## II.3.6 RESEAUX DE CAPTEURS SANS FILS (WSN)

Les réseaux de capteurs sans fil, ou Wireless sensor network (WSN) en anglais, sont des systèmes distribués capables d'acquérir des informations sur l'environnement par des capteurs embarqués. Ils sont avantagés de capacités matérielles réduites, une batterie et un coût faible et communiquent au moyen de liaisons sans fil bas débit et à courte portée, ce qui les rend autonomes.

Les réseaux de capteurs sans fil sont destinés à produire des mesures en continu, avec un minimum d'intervention humaine. Ils ont été utilisés pour le domaine médical, les maisons et villes intelligentes et dans d'autres applications.

Ils s'articulent autour de deux grandes familles d'appareils qui interagissent entre eux :

- Les nœuds, qui font les mesures sur le terrain grâce aux capteurs qu'ils portent. Ils sont munis d'un processeur peu puissant, une mémoire limitée et d'une interface de communication sans fil. Ces nœuds sont les dispositifs les plus répandus dans le réseau.
- Les bases, qui n'ont pas de capteurs mais sont des dispositifs beaucoup plus performants, utilisées comme points de collecte centralisée recevant les mesures acquises par les nœuds, ou comme intermédiaires entre deux réseaux de capteurs, ou avec un autre réseau (Internet, notamment). Elles se trouvent dans le réseau en nombre limité [18].

## II.3.7 GPS

Le GPS fonctionne dans toutes les conditions météorologiques, partout dans le monde, 24h/24, sans frais d'abonnement ou de configuration. Le système de positionnement global (GPS) est un système de navigation par satellite composé d'au moins 24 satellites [30].

### II.3.7.1 Module GPS NEO-6M

Le module GPS neo-6m est représenté sur la figure II.16. Il est livré avec une antenne externe et n'est pas livré avec des broches d'en-tête. Vous devrez donc le souder [30].



Figure II-16: GPS NEO-6M [30]

### II.3.7.2 Puce GPS NEO-6M

Le cœur du module est une puce GPS NEO-6M de u-blox. Elle peut suivre jusqu'à 22 satellites sur 50 canaux et atteint le plus haut niveau de sensibilité de l'industrie, tout en ne consommant que 45mA de courant d'alimentation. Le moteur de positionnement u-blox 6 peut également se targuer d'un temps de réponse (TTFF) inférieur à 1 seconde. L'une des meilleures caractéristiques de la puce est le mode d'économie d'énergie (PSM). Il permet de réduire la consommation d'énergie du système en allumant et en éteignant sélectivement certaines parties du récepteur. Cela réduit considérablement la consommation d'énergie du module à seulement 11mA, ce qui le rend approprié pour les applications sensibles à l'énergie comme les montres GPS. Ce module supporte un débit en bauds de 4800bps à 230400bps avec un débit en bauds par défaut de 9600 [30].

Le GPS permet d'obtenir beaucoup plus d'informations que la simple localisation, et ce de manière simple, vous pouvez obtenir : la date, l'heure, vitesse, trajectoire, altitude et satellites. La puce du GPS est affichée par la figure II-17




Figure II-17 : Puce GPS NEO-6M[30]

## II.4 ALGORITHMES D'OPTIMISATION

### II.4.1 Algorithme du sac à dos

« Le problème de sac à dos est un problème d'optimisation combinatoire modélisant une situation dans laquelle un décideur dispose d'un ensemble d'objets parmi lesquels il doit faire une sélection, en respectant une contrainte de capacité. L'objectif est de maximiser le profit apporté par les objets choisis » [31].

### II.4.2 Principe de fonctionnement de l'algorithme KP

Le problème du sac à dos (KP) est le suivant : étant donné un ensemble de n articles et un sac à dos, avec

Pj = bénéfice de l'article j, Wj = poids de l'article j, et c =capacité du sac à dos,

Sélectionner un sous-ensemble d'articles de manière à

Maximiser $$z = \sum_{j=1}^{n} p_j x_j \qquad (1.1)$$

Sous réserve de $$\sum_{j=1}^{n} w_j x_j \leq c, \qquad (1.2)$$

$$x_j = 0 \text{ or } 1, \quad j \in N = \{1,....,n\} \qquad (1.3)$$

Avec : $$x_j = \begin{cases} 1 \text{ if item j is selected;} \\ 0 \text{ otherwise.} \end{cases}$$

KP est le plus important problème de sac à dos et l'un des problèmes de programmation discrète les plus étudiés. La raison d'un tel intérêt découle essentiellement de faits qu'il apparaît comme un sous-problème dans de nombreux problèmes plus complexes, et il peut représenter un grand nombre de situations pratiques [32].

## II.4.3 Le problème du voyageur de commerce

Le problème du voyageur de commerce est un représentant d'une grande classe de problèmes connus sous le nom de problèmes d'optimisation combinatoire. Dans la forme ordinaire du TSP, une carte de villes est donnée au voyageur et il doit visiter toutes les villes une seule fois pour effectuer une tournée telle que la longueur de la tournée soit la plus courte parmi toutes les tournées possibles pour cette carte [33].

## II.4.4 Le recuit simulé

Le recuit simulé a été proposé par Metropolis en 1953 son idée principale est de simuler le comportement de la matière, en générant des configurations à partir d'une solution initiale et température initiale (S0 et T0), cette température diminuera tout au long du processus jusqu'à atteindre un état d'équilibre thermodynamique, (où l'énergie est minimale) ce qui représente la solution optimale d'un problème.

L'énergie du système est calculée par une fonction coût spécifique à chaque problème [34].

## II.4.5 Principe de fonctionnement de l'algorithme SA

Dans notre problème on applique l'algorithme SA, en partant d'une solution initiale S0 (S = S0) et un temps de cycle Tc, ainsi on définit une température initiale T0 (T = T0) qui décroît par des paliers, selon un schéma de décroissance géométrique. L'évolution de la température dépend de trois paramètres :

- La température initiale T0,
- Le coefficient de refroidissement alpha,
- La longueur du palier, qui est le nombre d'itérations $N_{iter}$ pour lequel la température est constante.

Une étude expérimentale permet d'ajuster ces paramètres et de déterminer leurs valeurs. A la fin, quand la température devient presque nulle l'algorithme s'arrête. L'organigramme de figure II-18 illustre les différentes étapes [35].

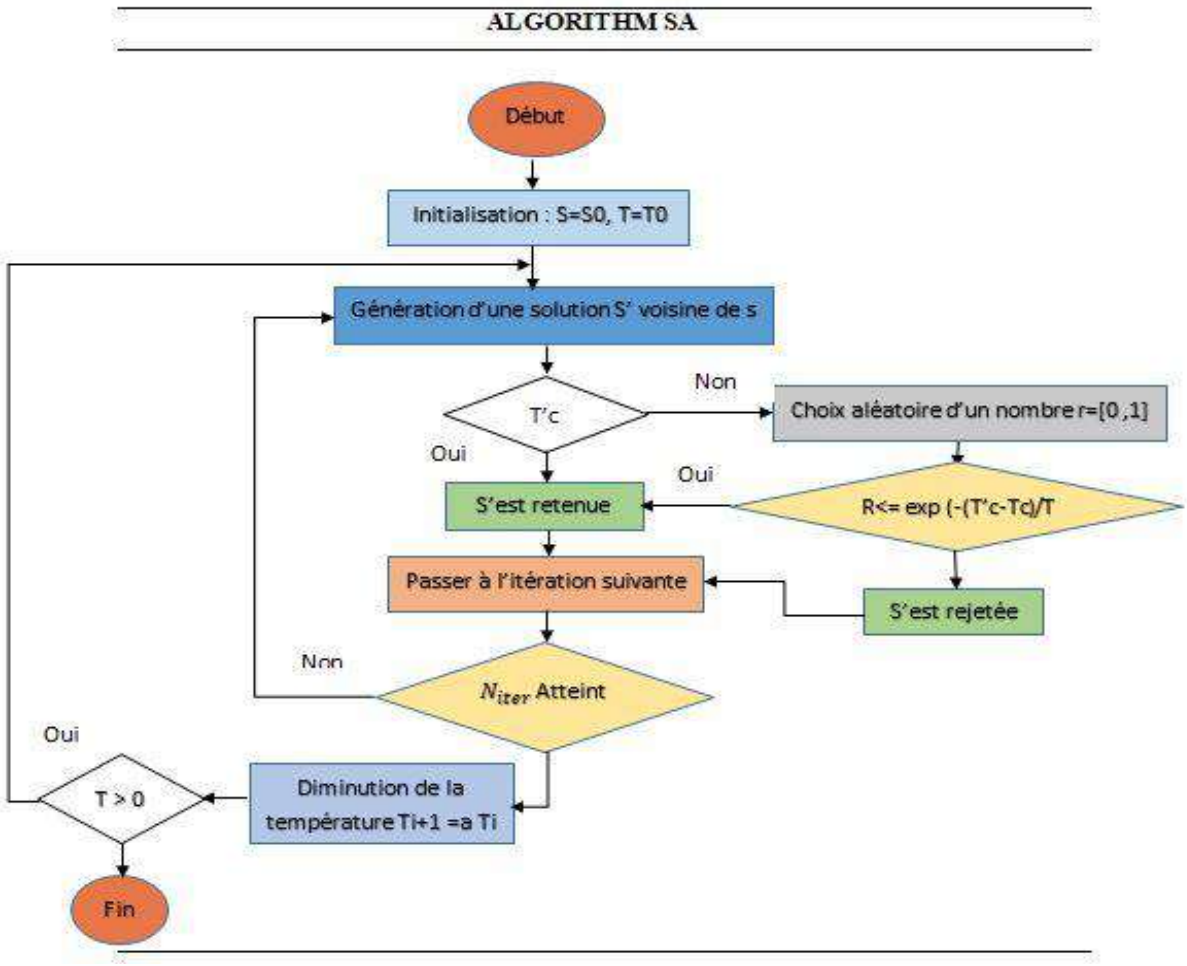



Figure II-18 : L'organigramme de SA [35]

## II.4.6 Domaines d'application

Le recuit simulé est appliqué dans plusieurs problèmes d'optimisation, comme :

- Le problème du voyageur de commerce.
- Le problème du sac à dos.
- La conception des circuits intégrés.
- Le routage des paquets dans les réseaux.
- La segmentation d'images [36].

## II.4.7 Exemple

La méthode de "recuit simulé" est appliquée pour résoudre le problème du voyageur de commerce. Elle consiste, à déterminer le plus court chemin qui relie entre un ensemble de villes séparées par des distances données.

Dans notre exemple de l'alphabet H on donne 16 points définis par des coordonnées (x,y) données.

La figure II-19 montre les 16 points « chemin initial » et le « chemin optimale » avec l'algorithme SA :

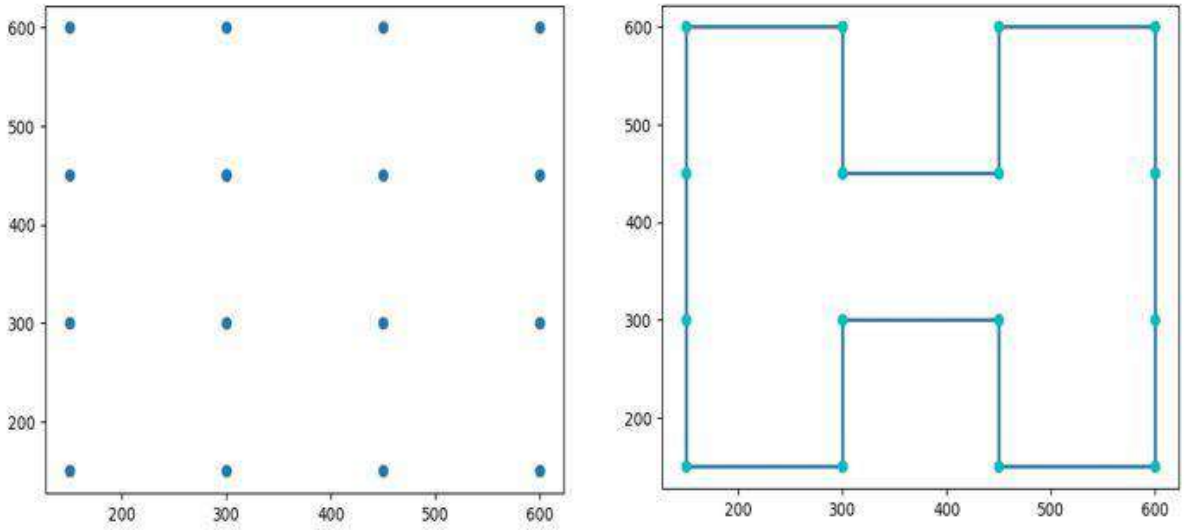



Figure II-19 : Coordonnés des points et le chemin optimale

## II.5 CONCLUSION

Dans ce chapitre, on a abordé les différents matériels et softwares utilisés dans le but de réaliser le réseau de capteurs sans fils ainsi que l'IHM et l'algorithme d'optimisation. Ce dernier est exécuté suite aux données reçues afin de déterminer en premier lieu les points à collecter et ainsi le chemin à adopter en minimisant la distance parcourue par le camion de collecte.

Dans le chapitre suivant, les étapes de notre implémentation sont expliquées en détail.



# Chapitre III

# Développement et réalisation pratique



## III.1 INTRODUCTION

Apres avoir présenté les différents outils logiciels et matériels utilisés, dans ce chapitre on va montrer les différentes étapes de la conception et la réalisation de notre projet, ainsi que la solution proposée pour une meilleur gestion des déchets ménagers. Il s'agit d'un système de collecte intelligent basé sur l'IoT. On présentera ainsi les algorithmes utilisés pour déduire les points collectés et les chemins optimaux des camions de collecte.

Ce chapitre traite les différentes parties suivantes

- Cahier des charges
- Solution proposée
- Connexions des capteurs
- Algorithmes et protocole de communication.
- Interface home machine (IHM)
- Teste et validation

## III.2 CAHIER DE CHARGE

Dans le but de réalisation de notre système de collecte intelligente des déchets basé sur l'IoT, nous avons tracé des grandes lignes qui sont considérées comme des exigences de notre projet, ce qui rend le but de ce travail clair et précis.

Notre système est montré dans le schéma de la figure III-1.

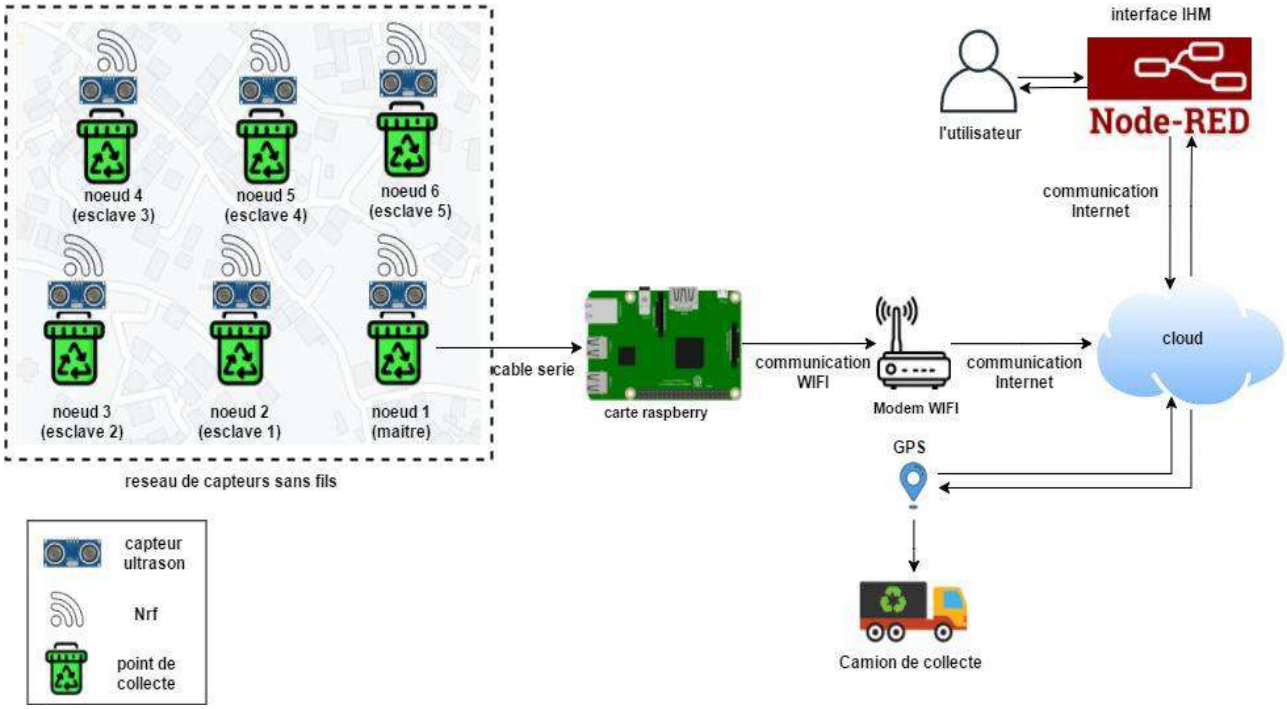



Figure III-1 : Schéma générale du systéme

A cause du problème de gestion des déchets en Algérie, on a proposé cette solution qui est un système basé sur l'IoT, composé de plusieurs nœuds représentant les points de collecte, ces nœuds permettent de mesurer le taux de remplissage des bacs par l'utilisation d'un capteur ultrason, ensuite ils envoient cette donnée vers le nœud principal grâce à une communication radio-fréquence grâce au module nRF. Le nœud principal rassemble toutes les données issues des différents nœuds et les envoie à travers une communication série USB à une application hébergée dans une carte Raspberry relié à ce nœud. L'interface IHM permet d'avoir des informations sur le taux de remplissage des points de décharge ainsi que le suivi du conducteur de camion de collecte par le GPS qui permet de donner le positionnement par les deux coordonnés latitude et longitude.

À la fin, on utilise les deux algorithmes sac à dos (KP) et recuit simulé (SA), pour choisir les différents bacs que l'équipe de collecte doivent vider et le chemin optimal entre ces points de collecte, puis on envoie le résultat au conducteur afin de l'emprunter.

Les différentes étapes suivies pour la réalisation sont résumées dans l'organigramme de la figure III-2

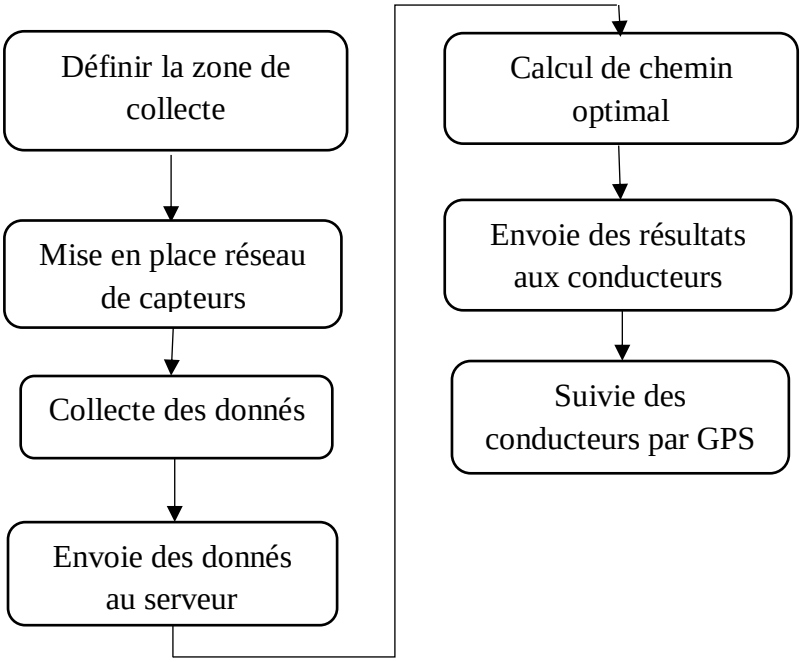



Figure III-2 : Etapes à suivre

## III.3 DEFINITION DE LA ZONE DE COLLECTE

La figure III-3 montre les 18 points de collecte, que le collecteur concerné doit collecter dans le quartier de BEZIWESH situé dans la ville de MEDEA.

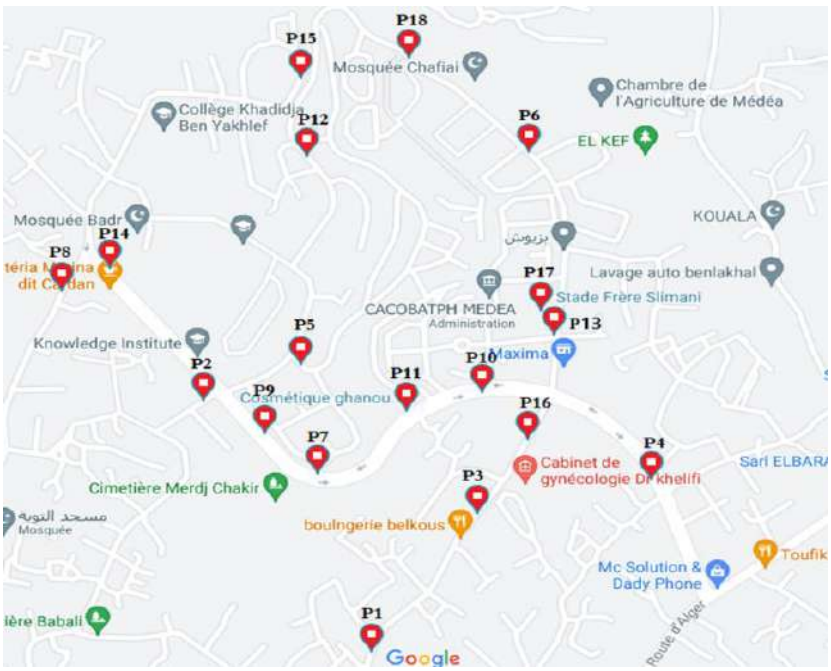



Figure III-3 : Zone de collecte

## III.4 MISE EN PLACE D'UN RESEAU DE CAPTURS SANS FILS

On a mis en place un dispositif qui fait la mesure du taux de remplissage des bacs. Ce dispositif est un capteur ultrason monté avec une carte Arduino uno, ce qui permet de détecter la distance entre le capteur et les déchets dans les bacs, le capteur émet une onde sonore s'il y a un obstacle l'onde va être réfléchie et le capteur nous donne la distance, sinon il affiche rien.

Ensuite, on réalise un réseau de capteurs sans fils par l'ajout d'un module dans chaque nœud, ce qui nous permet d'envoyer les donnes des capteurs, vers un nœud chargé de faire la collecte (le nœud principal), à travers une communication radio.

### III.4.1 Capteur ultrason

Le fonctionnement de capteur est expliqué selon l'organigramme illustré par la figure III-4.

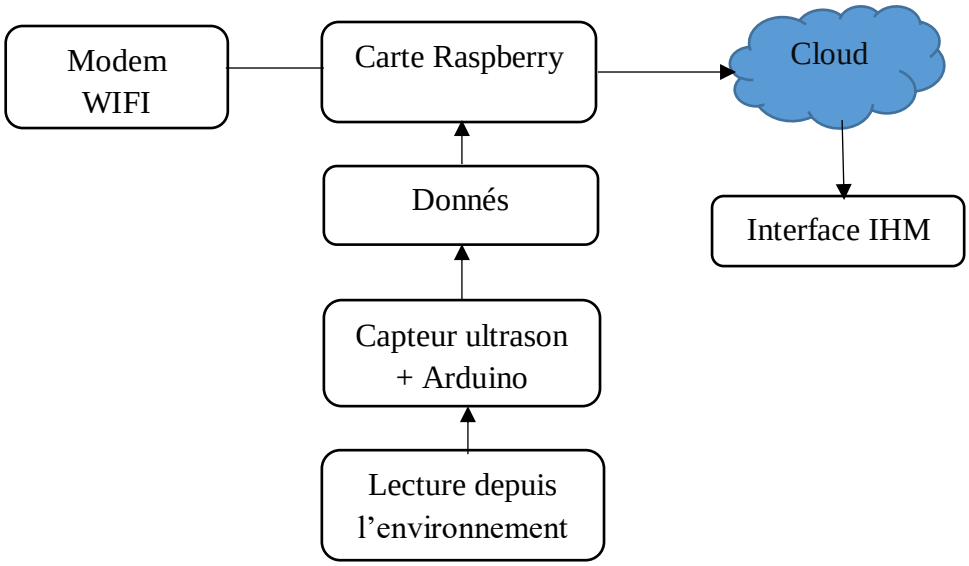



Figure III-4 : Fonctionnement de capteur

Le montage du capteur ultrason avec la carte Arduino est simple. On bronche les fils avec la carte de test pour partager la connexion entre les deux composants Arduino et capteur ultrason.

- **Matériel** montré dans la figure III-5

- Une carte Arduino Uno
- Capteur ultrason
- plaque d'essai
- Des fils de connexion
- Câble série

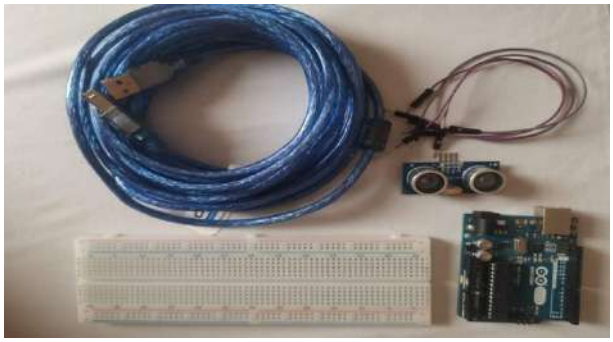


Figure III-5 : Matériel utilisé

- **Branchement**

Le tableau III-1 montre les différents branchements du capteur avec la carte Arduino :

Tableau III-1 : branchement du capteur avec Arduino

| Ultrason HC-SR04 | Arduino uno |
|---|---|
| Vcc | 5V |
| Trig | Pin 2 |
| Echo | Pin 3 |
| GND | GND |

- **Schéma**

La figure III-6 montre le schéma et le montage :

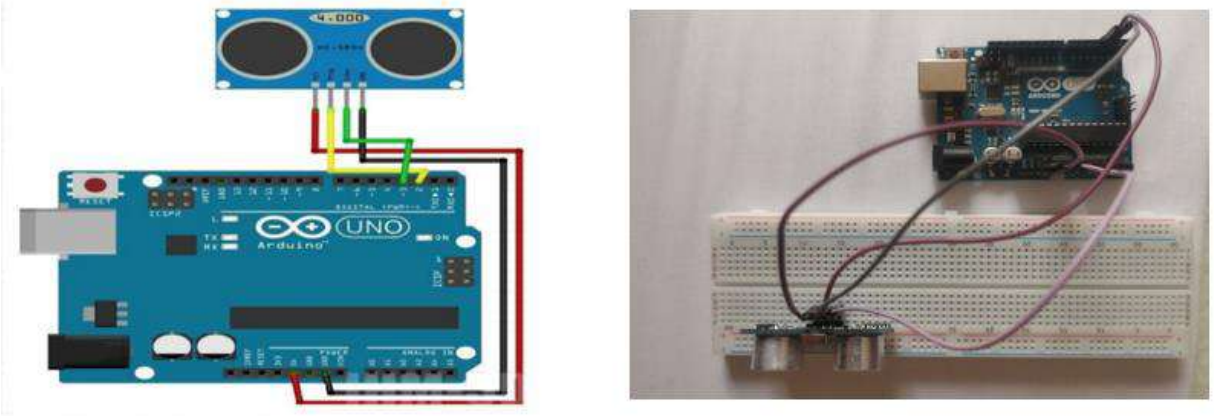


Figure III-6 : Schéma de montage et le montage réel

- **Résultat** (Moniteur série)

Afin de mesurer la distance on a besoin d'élaborer un programme Arduino en langage C.

L'utilisation du capteur ne nécessite aucune bibliothèque, il faut juste choisir le type de la carte utilisé (Arduino uno) et le port (COM3), puis compiler et téléverser le programme vers la carte.

On essaye de mettre un objet (obstacle), par exemple un cahier ou un livre en face le capteur et on change sa distance par rapport au capteur, le résultat obtenu dans le moniteur série est montré dans la figure III-7.

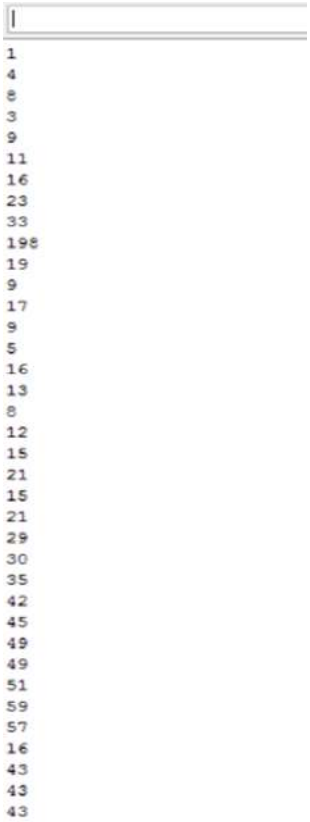



Figure III-7 : Résultat du moniteur série

## III.4.2 Nrf 24L01

Le module NRF24l01 est un émetteur-récepteur radiofréquence de faible puissance utilisé pour l'échange de données sans fil sur la bande de fréquence radio 2.4GHz. Il permet de communiquer entre deux appareils de manière efficace et sur une moyenne distance lorsque ces

derniers sont en vue directe, il contient plusieurs pins mais le montage est simple, on a suit les étapes montrés ci-dessous

- **Matériel**
  - Carte arduino uno × 2
  - Nrf × 2
  - Des fils de connections
  - Câble série × 2
- **Branchement**

Le tableau III-2 montre le branchement des pins du module de communication avec la carte Arduino :

Tableau III-2 : branchement du Nrf avec Arduino

| Nrf24l01 | Arduino uno |
|---|---|
| Vcc | 3.3 V |
| GND | GND |
| CSN | Pin 10 |
| CE | Pin 9 |
| SCK | Pin 13 |
| MOSI | Pin 11 |
| MISO | Pin 12 |

- **schéma**

Le branchement de l'émetteur (maitre) et le récepteur (esclave) avec la carte Arduino est illustré par la figure III-8 ainsi que le montage réel

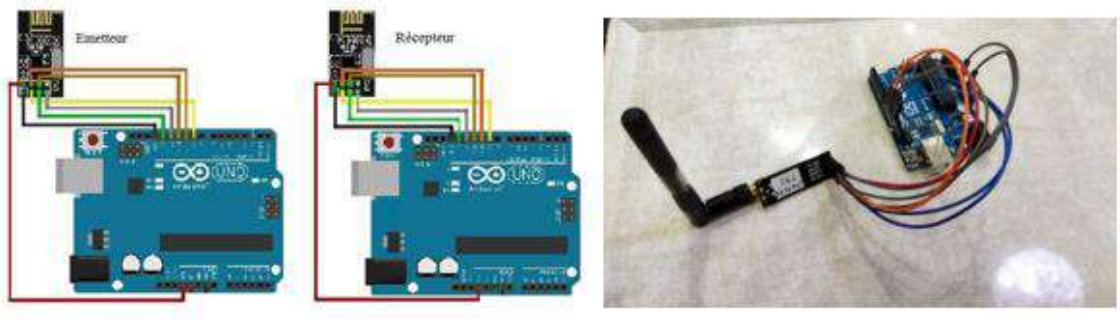



Figure III-8 : Branchement du maitre/esclave et le montage réel

## III.5 COLLECTE ET ENVOI DES DONNEES

La collecte de données est une étape très importante et nécessite une distribution bien étudiée des appareils. Elle exige une communication sans fil et une communication filaire de type USB. Le processus de communication sans fil se fait selon l'organigramme montré dans la figure III-9.

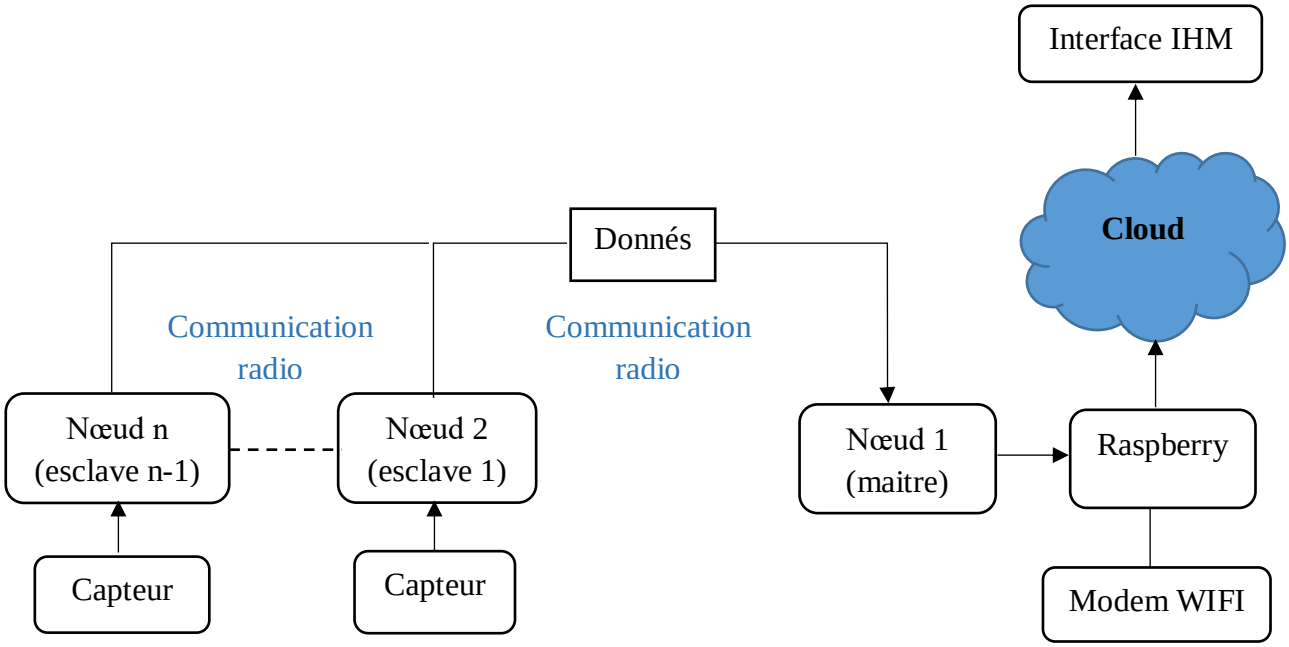



Figure III-9 : Fonctionnement de WSN

On choisit un nœud central (maître) qui collecte les données des autres nœuds par une communication sans fil (transmission radio) à travers le NRF24L01. Ce nœud doit être relié à une carte Raspberry pi par une liaison filaire (USB), et un modem pour permettre aux données d'être partagées et envoyées au Cloud puis à l'interface IHM.

### III.5.1 Protocole de communication

Le module radio NRF24L01 est un module radio tout intégré du fabricant **Nordic Semi Conductor**. Il peut émettre et recevoir des données en utilisant le protocole de communication "ShockBurst" qui permet au NRF24L01 d'être considéré comme un modem complet, avec adressage, gestion automatique de construction de paquet, et des erreurs de transmission et retransmission en cas de non réponse du destinataire, ainsi que la génération de l'acquittement.

Le module nRF24L01 utilise la même gamme de fréquences que le Wifi et le Bluetooth (2.4GHz), mais n'est pas compatible avec ceux deux protocoles.

Il communique avec son maitre au moyen d'un bus SPI. On retrouve trois broches MISO, MOSI, et SCK sont destinées à la communication SPI (maitre/esclave) et doivent être connectées aux broches SPI dans Arduino [25] [37].

Cette communication est présentée dans la figure III-10 :

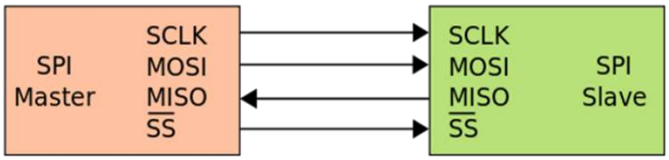



Figure III-10 : Communication maitre/esclave

Il existe deux types de transactions :

- Transaction simple

L'émetteur envoie le paquet au récepteur qui est en écoute, quand il reçoit le paquet il envoie l'acquittement et revient en écoute, si l'émetteur ne reçoit pas l'ACK après un délai, il retransmit le même paquet.

- Transaction avec donnée en retour (accusé)

L'émetteur envoie le paquet au récepteur, lorsqu'il reçoit le paquet il charge l'acquittement avec les données issues du capteur, dans notre projet on a utilisé ce type de transaction pour transmettre les données

Le module Nrf24l01 peut utiliser 125 canaux différents, ce qui permet à un réseau d'avoir 125 nœuds, qui fonctionnent indépendamment. Chaque canal peut avoir jusqu'à 6 adresses, ou chaque unité peut communiquer avec 6 autres unités en même temps [25], [37].

La figure III-11 représente ce type de communication

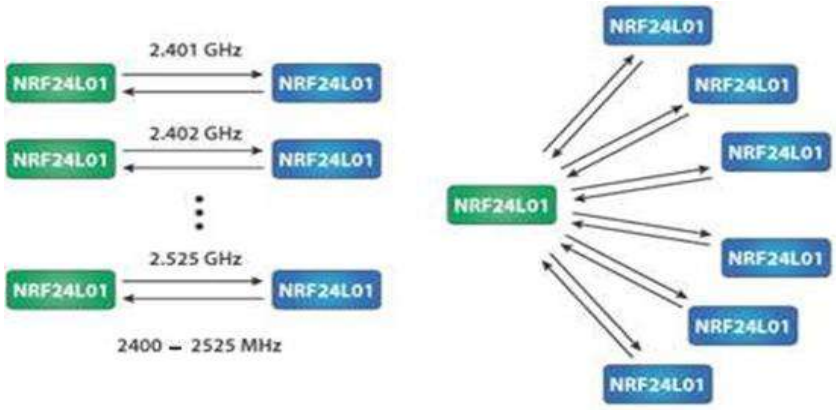



Figure III-11 : Communication du Nrf

## III.5.2 Le nœud principal

L'installation des bibliothèques est nécessaire, on installe la bibliothèque «RF24 » pour le fonctionnement du programme nRF dans Arduino. Le maitre initialise la communication par l'envoie d'une donnée à l'esclave puis il lit les données des capteurs depuis l'accusé reçu pour les transférer vers le Raspberry via le port série au niveau de nœud principal (maitre).

Les données collectées du nœud capteurs sont affichées dans la figure III-12 :

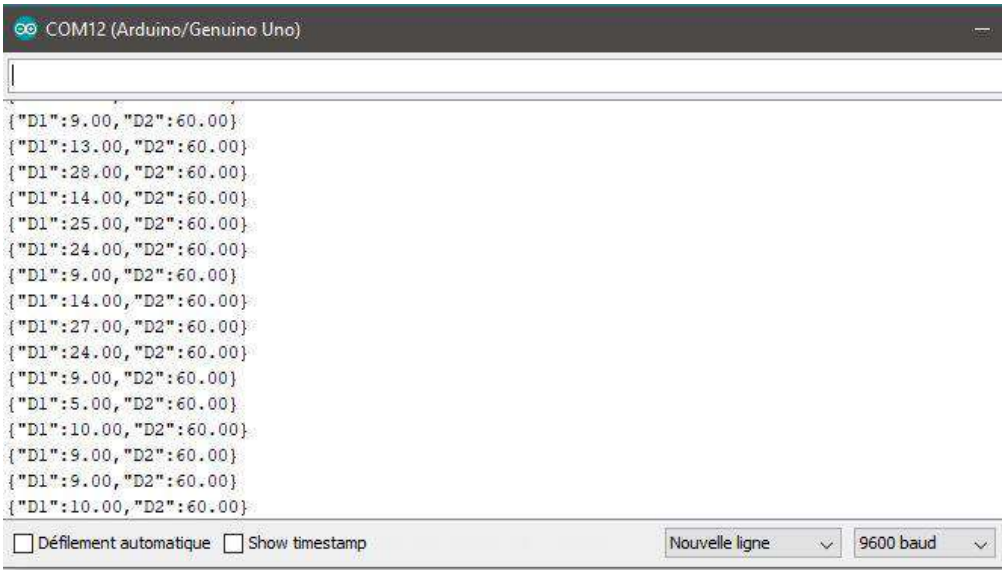



Figure III-12 : Données collectés de l'esclave

### III.5.3 Le nœud capteurs

Au niveau de nœud capteur (l'esclave) on a mis un programme qui assure ces taches :

Il reçoit la donnée émise par le nœud principale (data received), obtient la donnée nécessaire et il envoie au nœud principal (maitre) l'accusé de réception (ACK) chargé avec la donnée issue de capteur ultrason. Dans la figure III-13 on montre les données issues du capteur

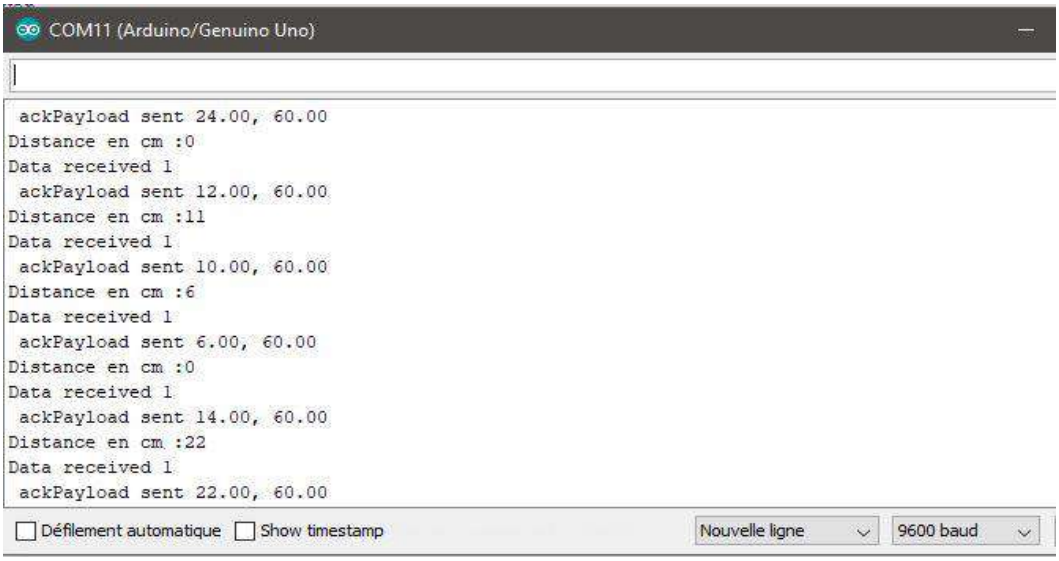



Figure III-13 : Données envoyés au maitre

## III.6 SUPERVISION ET ALGORITHMES D'OPTIMISATION

Afin de poursuivre le chemin du camion de collecte, on place un module GPS à l'intérieur du camion, et on reçoit les données : latitude et longitude à travers le Cloud, en contrepartie on envoie au conducteur de camion le chemin optimal à suivre. Le processus de fonctionnement est donné par l'organigramme de la figure III-14

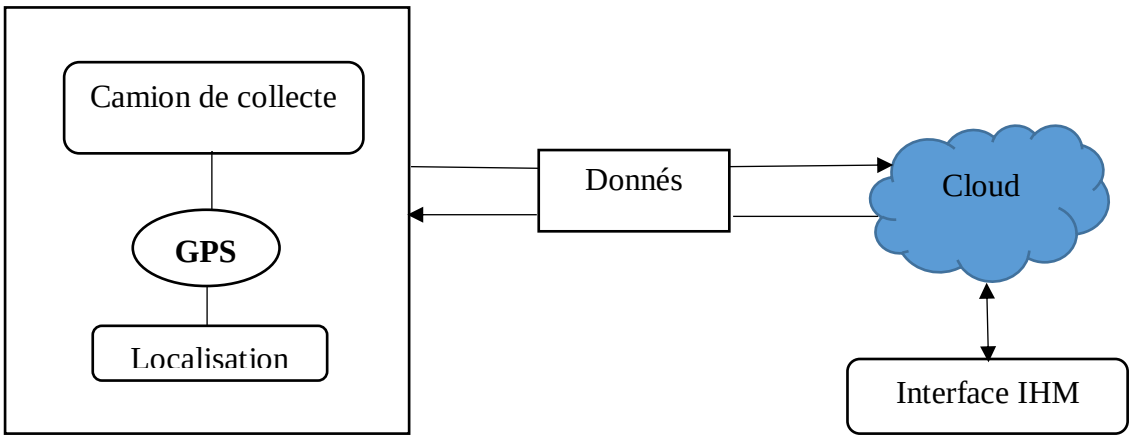



Figure III-14 : Fonctionnement de GPS

## III.6.1 GPS NEO 6M

Le GPS nous donne la possibilité de savoir le positionnement de camion, pour avoir ca on a besoin de matériel ci-dessous et de suivre les étapes :

- **Matériel** figure III-15
  - Carte Arduino uno
  - GPS neo-6m
  - Plaque d'essai
  - Des fils de connexions
  - Alimentation externe
  - Câble série

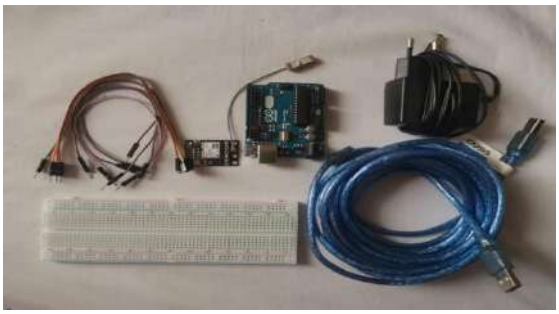


Figure III-15 : Matériel utilisé

- **Branchement**

On relie le module GPS avec la carte Arduino Uno comme le montre le tableau III-3 :

Tableau III-3 : branchement du GPS avec arduino

| GPS | Arduino Uno |
|---|---|
| Vcc | 5V |
| GND | GND |
| Rx | Pin 3 |
| Tx | Pin 4 |

- **Schéma**

La figure III-16 illustre le montage :

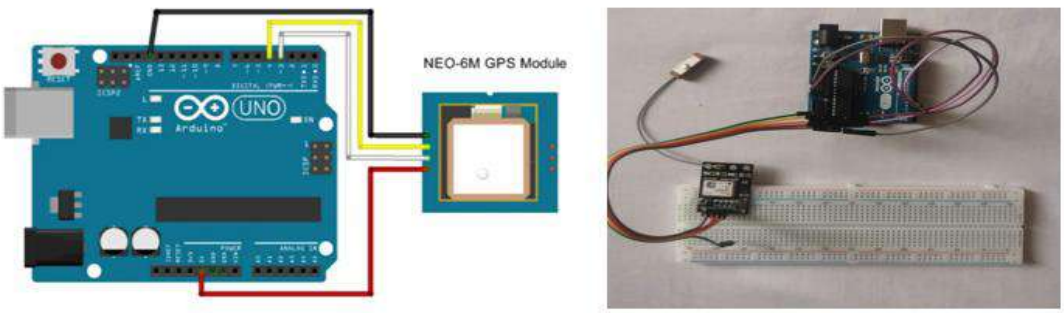



Figure III-16 : Schéma du montage GPS et le montage réel

- **Résultat**

Ensuite, pour que le GPS fonctionne, on alimente la carte Arduino par une alimentation externe (un adaptateur) et on le relie au pc par un câble série. Le résultat du moniteur série est affiché dans les deux figures III.17 et III.18

```
$GPGLL,,,,,,V,N*64
$GPRMC,,V,,,,,,,,,,N*53
$GPVTG,,,,,,,,,N*30
$GPGGA,,,,,,0,00,99.99,,,,,,*48
$GPGSA,A,1,,,,,,,,,,,,,99.99,99.99,99.99*30
$GPGSV,1,1,00*79
$GPGLL,,,,,,V,N*64
$GPRMC,,V,,,,,,,,,,N*53
$GPVTG,,,,,,,,,N*30
$GPGGA,,,,,,0,00,99.99,,,,,,*48
$GPGSA,A,1,,,,,,,,,,,,,99.99,99.99,99.99*30
$GPGSV,1,1,00*79
$GPGLL,,,,,,V,N*64
$GPRMC,,V,,,,,,,,,,N*53
$GPVTG,,,,,,,,,N*30
$GPGGA,,,,,,0,00,99.99,,,,,,*48
$GPGSA,A,1,,,,,,,,,,,,,99.99,99.99,99.99*30
$GPGSV,1,1,00*79
$GPGLL,,,,,,V,N*64
$GPRMC,,V,,,,,,,,,,N*53
$GPVTG,,,,,,,,,N*30
$GPGGA,,,,,,0,00,99.99,,,,,,*48
$GPGSA,A,1,,,,,,,,,,,,,99.99,99.99,99.99*30
$GPGSV,1,1,00*79
```

Figure III-17 : Affichage du moniteur série

Le module GPS cherche des satellites comme montre la figure III-17, et ça prend un peu du temps alors il faut attendre jusqu'à la donnée sera stabilisé, puis après quelque minutes, une fois la localisation des satellites est fixée on reçoit les données complètes (les coordonnées) affiché dans la figure III-18, et on peut extraire les deux coordonnées latitude et longitude.

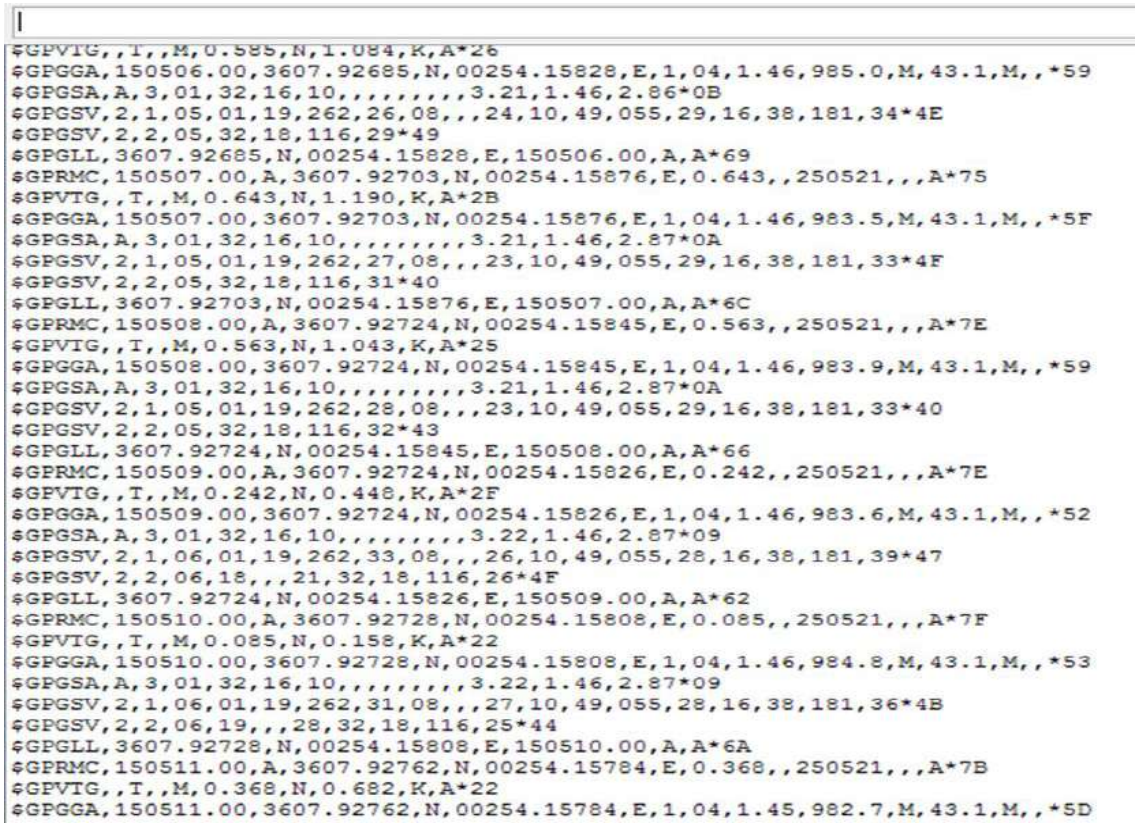



Figure III-18 : Affichage du moniteur série

Le module GPS permet d'obtenir plusieurs informations non seulement la localisation.

Le message $GPGGA est le message GPS NMEA de base, qui fournit des données de localisation et de précision en 3D. Les autres fournissent des informations supplémentaires :

- $GPGSA pour GPS DOP et satellites actifs.
- $GPGSV donne des informations détaillées sur les satellites.
- $GPGLL GPS Latitude et longitude géographiques.
- $GPRMC Données essentielles du GPS : position, vitesse, et temps.
- $GPVTG La vélocité [38].

On a seulement besoin du coordonnées latitude et longitude, on les trouve dans la donnée $GPGLL, mais malheureusement, on n'a pas pu séparer les donnes issues du GPS, on a perdu le signal.

## III.7 DETERMINATION DU CHEMIN OPTIMAL

Bien que l'on ne soit pas un voyageur de commerce, il existe d'autres façons d'utiliser ces informations. Par exemple, un camion collecte les déchets d'une façon intelligente en optimisant le temps et en empruntant le chemin le plus court possible.

Bien sur le conducteur veut minimiser les distances entre les points de collecte choisis parmi les 18 points existants.

Dans cette partie, nous allons utiliser l'algorithme KP et l'algorithme SA pour la collecte des points dans le quartier BEZIWESH ville de MEDEA. Et le tableau III-4 indique la distance entre les points.

Tableau III-4 : Distance entre les points de collecte

| Garbage | P1 | P2 | P3 | P4 | P5 | P6 | P7 | P8 | P9 | P10 | P11 | P12 | P13 | P14 | P15 | P16 | P17 | P18 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| P1 | 0 | 1100 | 300 | 750 | 1300 | 950 | 950 | 1600 | 1100 | 700 | 750 | 2100 | 680 | 1500 | 1650 | 450 | 1750 | 1250 |
| P2 | 1200 | 0 | 1400 | 900 | 150 | 1500 | 900 | 400 | 800 | 2300 | 1100 | 950 | 1400 | 400 | 900 | 1600 | 1500 | 1300 |
| P3 | 300 | 900 | 0 | 450 | 1030 | 680 | 600 | 1200 | 780 | 400 | 460 | 1800 | 330 | 1200 | 1800 | 150 | 440 | 930 |
| P4 | 1300 | 2000 | 1200 | 0 | 1500 | 1200 | 1100 | 1700 | 1200 | 2500 | 950 | 1900 | 800 | 1600 | 1900 | 1400 | 900 | 1400 |
| P5 | 1300 | 200 | 1040 | 950 | 0 | 1100 | 2100 | 550 | 2200 | 700 | 1900 | 400 | 900 | 450 | 600 | 880 | 1000 | 850 |
| P6 | 950 | 1500 | 690 | 650 | 1000 | 0 | 1200 | 1200 | 1400 | 2000 | 700 | 700 | 350 | 1100 | 700 | 530 | 300 | 260 |
| P7 | 1000 | 250 | 710 | 1700 | 370 | 1700 | 0 | 650 | 130 | 1400 | 1750 | 1200 | 1600 | 550 | 1100 | 540 | 1700 | 1400 |
| P8 | 1400 | 420 | 1700 | 1200 | 550 | 1200 | 2300 | 0 | 2400 | 950 | 1300 | 700 | 1200 | 1500 | 650 | 2000 | 1300 | 950 |
| P9 | 1900 | 120 | 1600 | 1600 | 240 | 1300 | 1100 | 500 | 0 | 1300 | 900 | 600 | 900 | 400 | 800 | 1500 | 1000 | 1100 |
| P10 | 650 | 750 | 350 | 300 | 900 | 550 | 500 | 1800 | 650 | 0 | 1300 | 1300 | 240 | 1700 | 1200 | 195 | 350 | 800 |
| P11 | 2200 | 450 | 1900 | 1900 | 550 | 1600 | 220 | 800 | 350 | 1600 | 0 | 950 | 1200 | 700 | 1100 | 1800 | 1300 | 1400 |
| P12 | 2100 | 950 | 1800 | 1800 | 400 | 700 | 1300 | 700 | 1400 | 1500 | 1100 | 0 | 1100 | 800 | 160 | 1700 | 1000 | 450 |
| P13 | 650 | 750 | 330 | 320 | 700 | 350 | 550 | 1600 | 650 | 1900 | 310 | 1000 | 0 | 1500 | 1000 | 182 | 90 | 600 |
| P14 | 1500 | 950 | 1300 | 1200 | 450 | 1200 | 1950 | 110 | 1800 | 900 | 1400 | 650 | 1100 | 0 | 600 | 1040 | 1200 | 950 |
| P15 | 1750 | 1500 | 1330 | 1800 | 600 | 700 | 900 | 650 | 750 | 1400 | 1930 | 160 | 1100 | 950 | 0 | 1180 | 1000 | 450 |
| P16 | 450 | 800 | 150 | 300 | 870 | 530 | 550 | 1100 | 650 | 1900 | 300 | 1700 | 180 | 1000 | 1600 | 0 | 280 | 1900 |
| P17 | 750 | 1400 | 450 | 400 | 750 | 300 | 650 | 1300 | 750 | 2000 | 450 | 1000 | 90 | 1400 | 1000 | 2900 | 0 | 550 |
| P18 | 1250 | 1800 | 930 | 900 | 850 | 250 | 1100 | 1000 | 1200 | 1700 | 950 | 450 | 600 | 900 | 450 | 780 | 550 | 0 |

Pour faciliter l'opération de collecte, on suppose qu'il y a deux camion de collecte d'une capacité de 2000 Kg pour chacun, et on utilise les deux algorithmes de l'optimisation sac à dos (KP) et recuit simulé (SA), pour faire la collecte des points dans la région 1 et la région 2 par ces deux camion, le premier algorithme nous permet de choisir les points que l'équipe de collecte doit ramasser et le deuxième algorithme déduit le chemin le plus court pour les

conducteurs des camions. C'est un problème multicritère, la collecte se fait en basant sur ces critères :

- La priorité des points de collecte par rapport aux autres (c'est à dire l'importance) : on donne une priorité aux points qui se trouvent devant une mosquée ou un hôpital, etc...
- Le volume des bacs.
- La capacité de décharge du camion c'est à dire combien de points il peut collecter avant d'être totalement remplie.
- La distance entre les points de collecte.

La figure III-19 montre les deux régions qu'on a choisies :

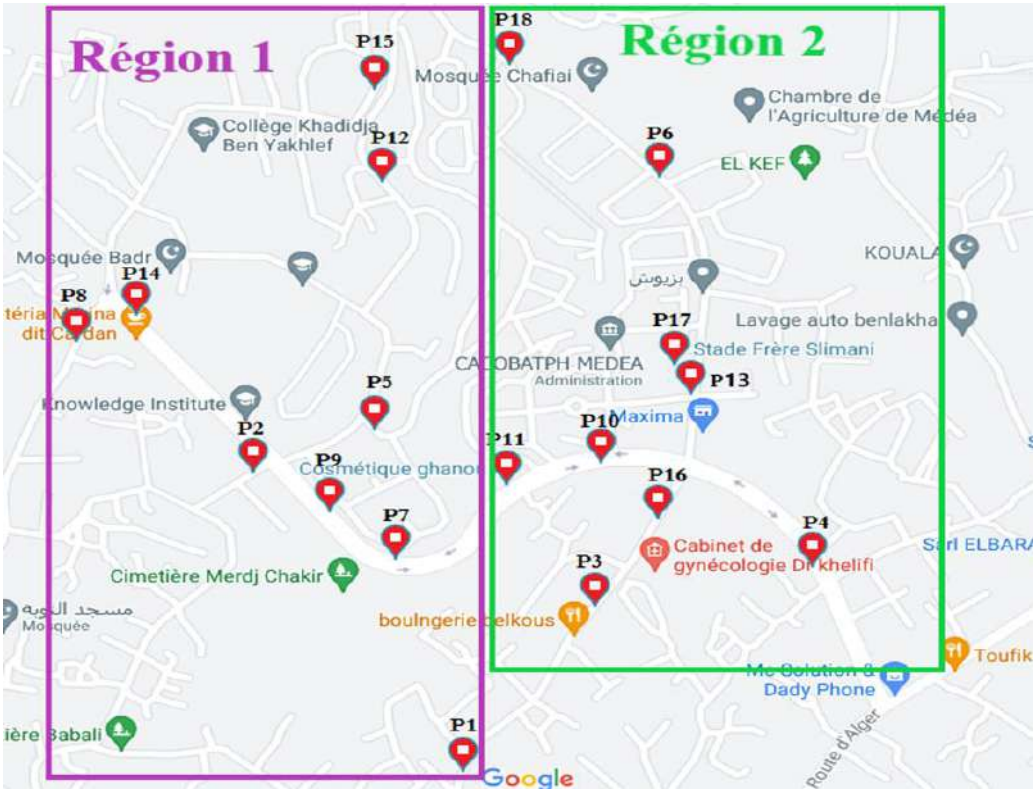



Figure III-19 : régions choisis

## III.7.1 Algorithme du sac à dos

On applique l'algorithme KP aux points de collecte de chaque région, les résultats sont montrés dans les figures III-20 et III-21

- Pour la région 1

Algo force -> Région 1 -> (79, {('P14', 240, 14), ('P8', 120, 7), ('P2', 600, 9), ('P12', 240, 7), ('P9', 240, 7), ('P7', 120, 14), ('P1', 360, 14)]}

Algo dynamique -> Région 1 -> (79, {('P1', 360, 14), ('P9', 240, 14), ('P12', 240, 7), ('P2', 600, 9), ('P8', 120, 7), ('P14', 240, 14)]}

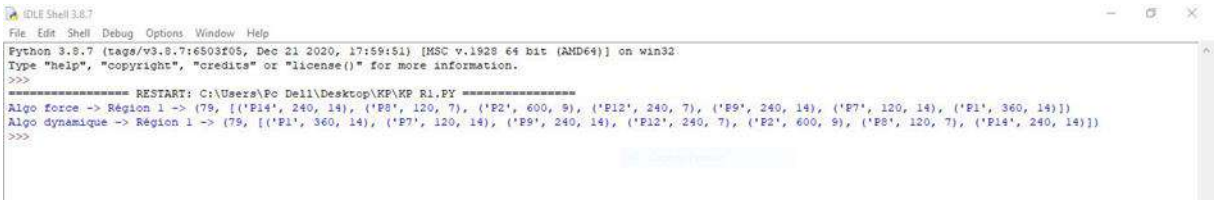



Figure III-20 : Résultat de l'algorithme KP dans la région 1

- Pour la région 2

Algo force → Région 2 → (55, {('P18', 360, 14), ('P13', 240, 8), ('P11', 480, 7), ('P16', 240, 8)]}

Algo dynamique → Région 2 → (55, {('P16', 240, 8), ('P3', 360, 7), ('P4', 240, 11), ('P11', 480, 7), ('P13', 240, 8), ('P18', 360, 14)]}

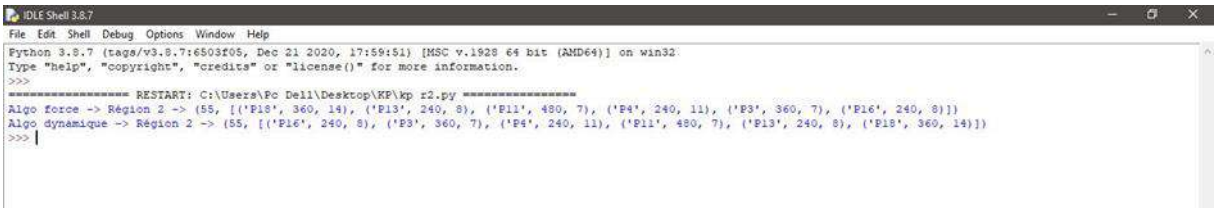



Figure III-21 : Résultat de l'algorithme KP dans la région 2

On associe à chaque point un poids et une valeur de priorité, on donne les priorités les plus importantes pour les points situés par exemple près d'une mosquée (P14), une société comme Algérie télécom (P4), une école, un hôpital, un aéroport, les grands magasins ou bien même pour un quartier ou il y a une grande densité.

L'algorithme force du sac à dos fait une analyse ou évaluation a tous les éléments (dans notre cas c'est les points de collecte), et puis il choisit la solution la plus optimisé, si la liste des éléments est vide et il y a aucun autre élément à analyser, il nous renvoi le poids maximum ainsi que les éléments sélectionnés. L'algorithme prend le premier élément de la liste et vérifie s'il l'ajoute et reste encore dans la limite, c'est à dire qu'on le peut ajouter sans dépasser la limite du sac à dos ou pas, alors la capacité du sac décroit par le temps, et il va continuer à analyser et voir si on a une meilleur solution lorsque on met l'élément ou pas, à la fin l'algorithme va nous renvoi la liste sélectionnée.

L'algorithme dynamique est une méthode qui nous permet d'éviter les calculs et les opérations répétés plusieurs fois de l'algorithme force, cela en factorisant ces opérations et les misent une seul fois au lieu de les faire pleins de fois, sauf de définir la solution directement il monte progressivement vers la solution optimal.

Les résultats des deux algorithmes sont les mêmes mais il est plus pratique d'utiliser l'algorithme dynamique si le nombre des éléments est grand.

Les points qui ont été collectes le premier jour perdent leurs priorités le jour suivant, la priorité revient aux autres points non collectés et ainsi de suite.

## III.7.2 Algorithme d'optimisation SA

Apres avoir définie les points que la conducteur doit collecter on donne le chemin optimal de chaque camion en utilisant l'algorithme SA.

On applique l'algorithme SA au résultat trouvé par l'algorithme KP pour chaque région afin de prendre le chemin le plus court entre les points choisis.

Les résultats d'algorithme SA sont présentés dans les deux figures III-22 et III-23

- Pour la région 1

P1 → P7 →P9→ P12 → P14 → P8 → P2 → P1




Figure III-22 : Résultat de l'algorithme SA dans la région 1

- Pour la région 2

  P11 → P18 → P13 → P3 → P16 → P4 → P11

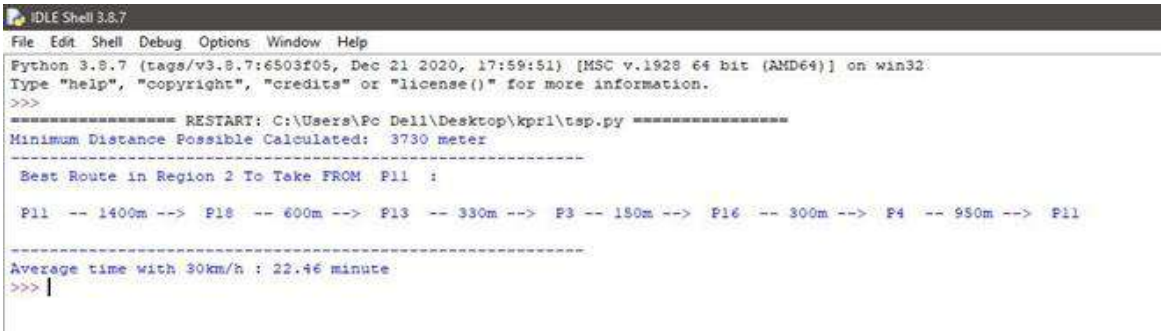



Figure III-23 : Résultat de l'algorithme SA dans la région 2

Le chemin optimal de chaque camion est montré dans la figure III-24

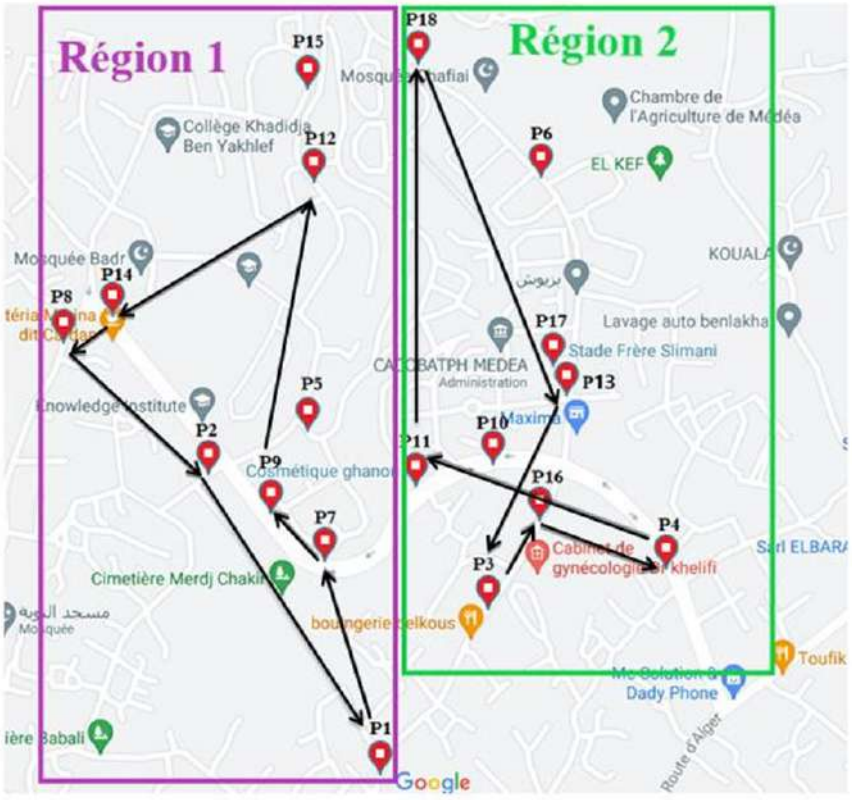



Figure III-24 : Chemin optimal des deux régions

### III.7.3 Etude comparatif

Les deux figures III.25 et III.26 suivantes représentent l'histogramme du distance et temps parcourus dans les deux méthodes : classique et optimale pour la région 1 et 2.

On a fait les calculs pour une année en supposant que la collecte se fait chaque trois jour.

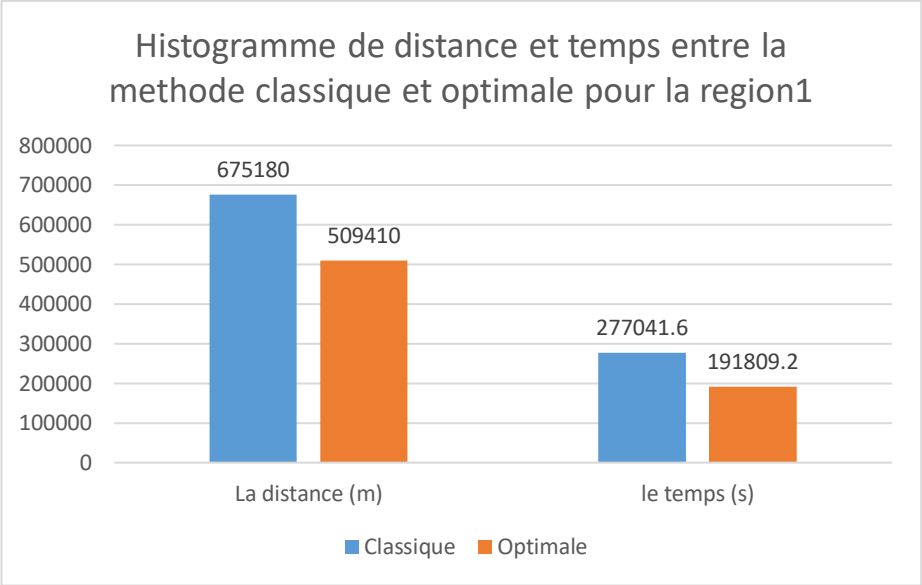



Figure III-25 : Histogramme de région 1

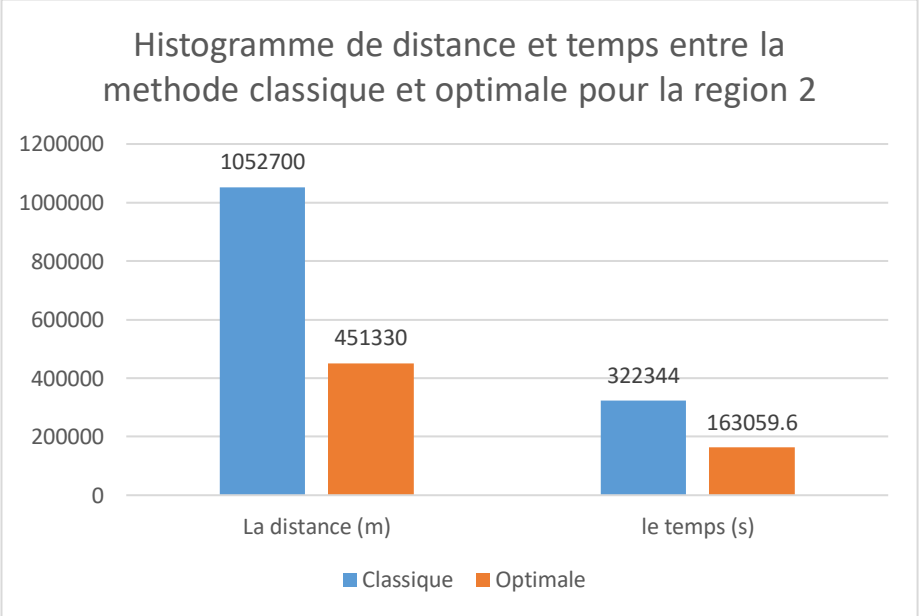



Figure III-26 : Histogramme de région 2

Il est remarquable que notre méthode d'optimisation a donné des résultats améliorés par rapport à la méthode classique, elle permet de réduire la distance parcourue et le temps par 25% et 31% respectivement pour la région 1 et par 57% et 49% pour la région 2.

# III.8 INTERFACE IHM

## III.8.1 Présentation de l'interface

L'interface homme/machine représente l'élément clé dans l'utilisation de tout système informatique. Les interfaces de notre système de recherche sont conçues de manière à être simples, naturelles, compréhensible et facile à utiliser. C'est l'outil principal pour superviser et contrôler le système.

On a utilisé la plateforme de développement Node-RED, composé de plusieurs flux et nœuds comme le montre la figure III-27

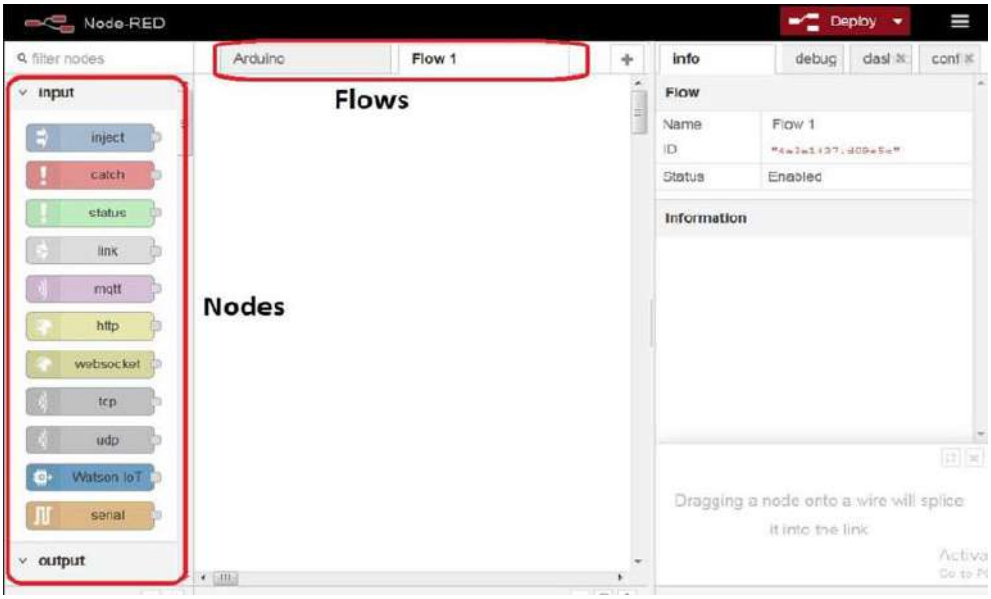



Figure III-27 : Node-RED

## III.8.2 Installation des nœuds

Il faut installer les nœuds nécessaires, on ouvre le menu du Node-RED puis manage palette, et dans le champ de recherche, on écrit le nom du nœud et on l'installe comme le montre la figure III.28.

On a besoin d'installer le Dashboard pour réaliser l'interface, le nœud serial pour utiliser le port série, et le nœud "Scheduler" pour avoir un calendrier.

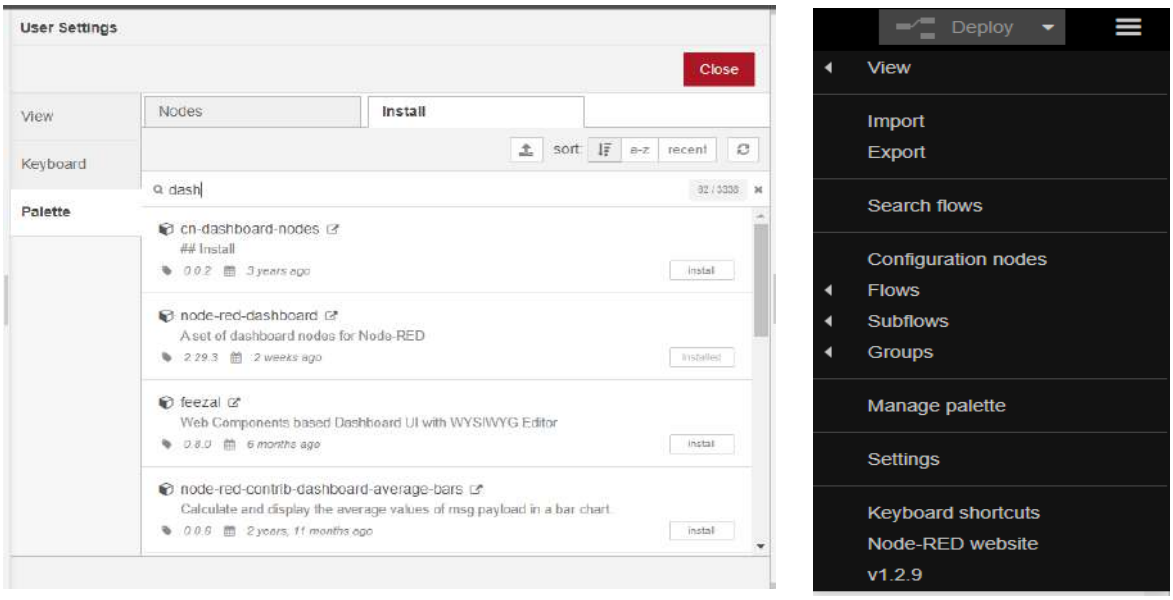



Figure III-28 : Installation des nœuds

## III.8.3 Choix de mode de contrôle

Pour que le gestionnaire puisse choisir entre le mode de contrôle automatique et manuel, on réalise le flow illustré par la figure III.29

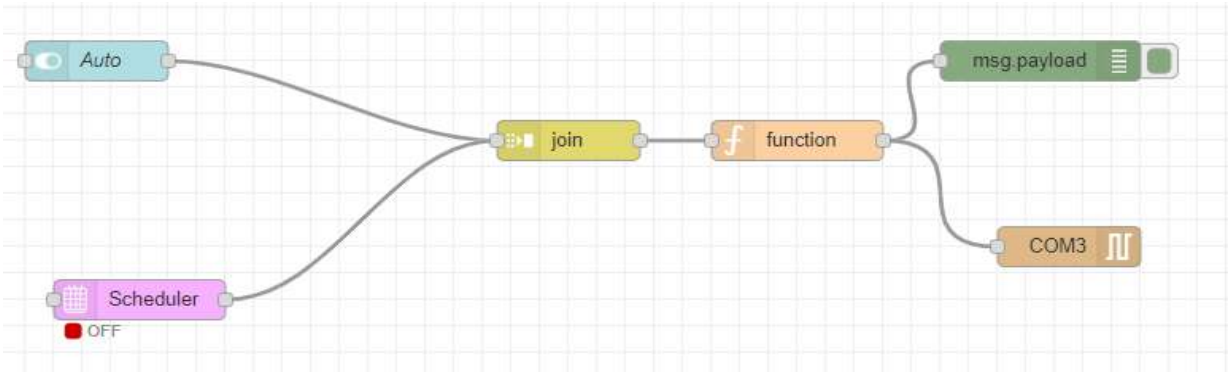



Figure III-29 : Choix de mode de control

Si le nœud switch « AUTO » est à l'état ON, le système fonctionne automatiquement avec un calendrier hebdomadaire configuré dans le nœud « Scheduler », sinon il fonctionne manuellement et pour regrouper les données on utilise le nœud « join », puis le nœud « fonction » qui nous permet de choisir entre ces deux modes, et la configuration de chaque nœud est dans la figure III.30

- **Configuration des nœuds**

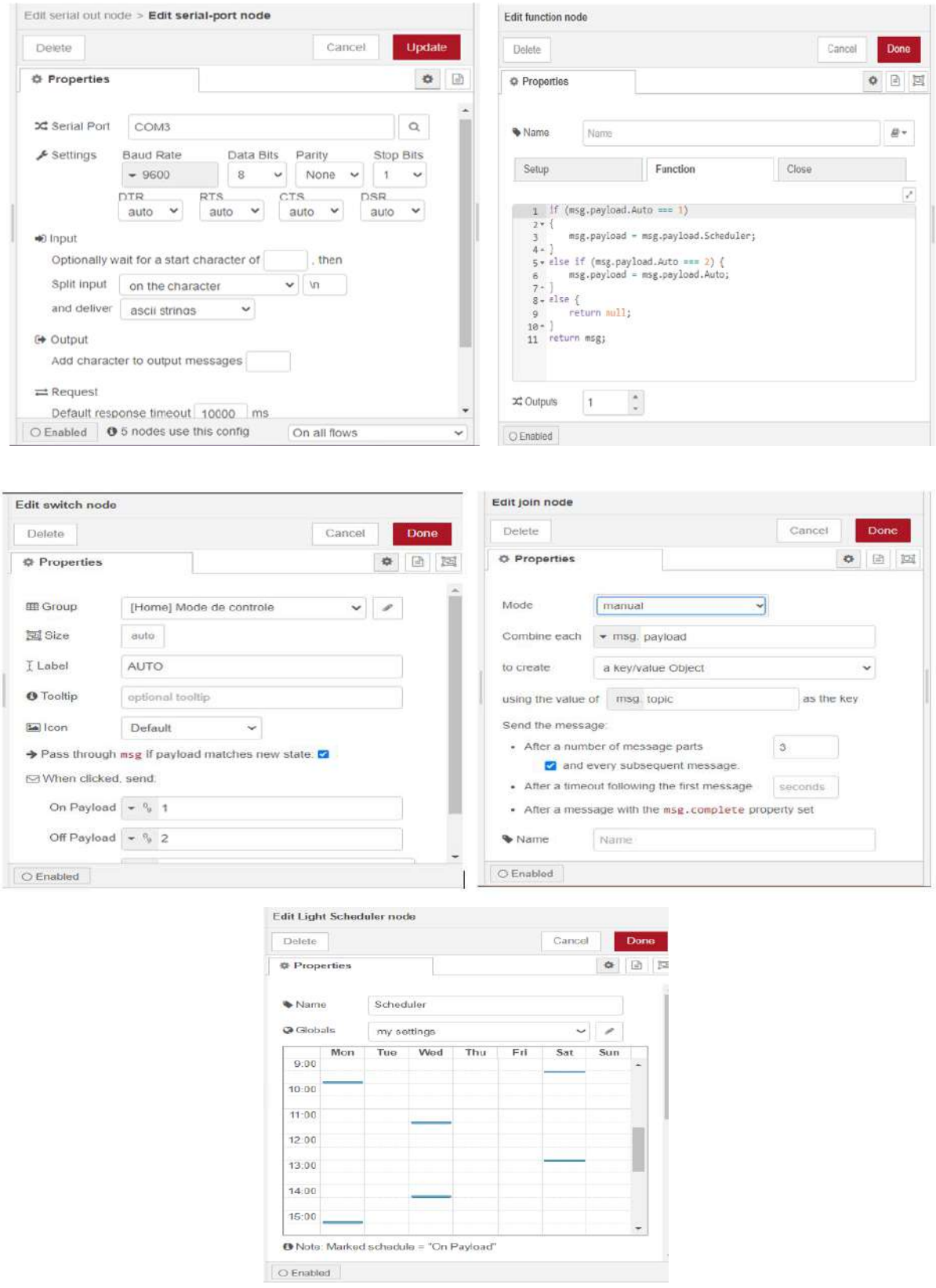



Figure III-30 : Configuration des nœuds

Le mode de contrôle est choisi par le gestionnaire à partir d'un switch, si le bouton est ON les valeurs sont lues automatiquement selon un calendrier déterminé par le responsable, il peut choisir plusieurs jours et horaires pour une semaine afin de visualiser le taux de remplissage des bacs chaque matin ou à la fin de la journée, sinon si le bouton est OFF l'affichage sera manuel dans n'importe quel moment le responsable demande de les visualiser.

## III.9 Réalisation et test

La figure III.31 montre la réalisation finale de système

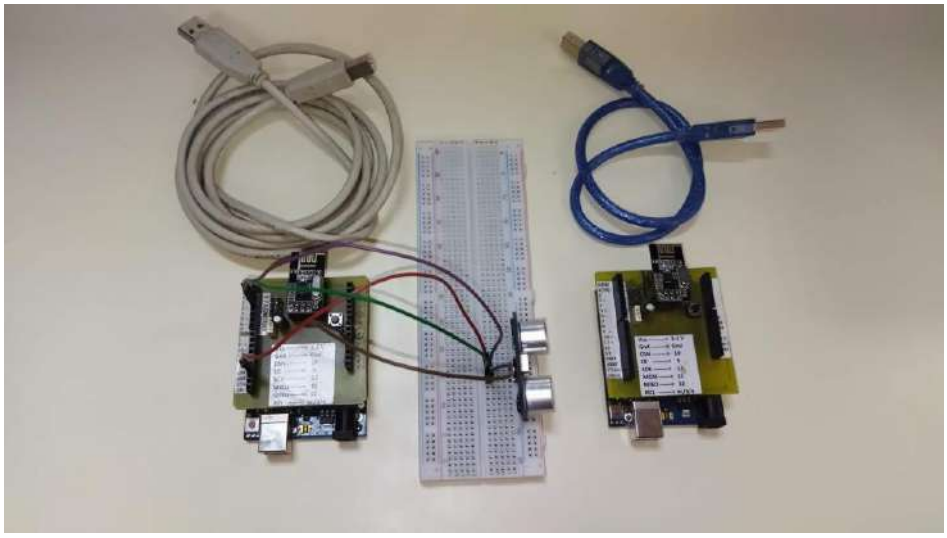


Figure III-31 : Réalisation finale

Par rapport à l'interface, les différents nœuds qu'on a utilisés nous permettent de séparer les données issues du port série, mais dans notre exemple on a supposé qu'on a déjà ces données en utilisant le nœud « inject » qui permet d'insérer des valeurs prédéfinies (T1, T2, T3) qui représentent le taux de remplissage des bacs, ensuite pour les séparer on utilise le nœud « json » qui est un moyen standard de représenter un objet JS sous forme de chaine, puis le nœud « function » sépare chaque donnée et on les affiche dans un « text » pour un affichage de la donnée par point et une « gauge » pour visualiser, et le nœud « media » nnous donne la possibilité d'insérer une image .

Le flux de l'interface réalisée est illustré par la figure III-32

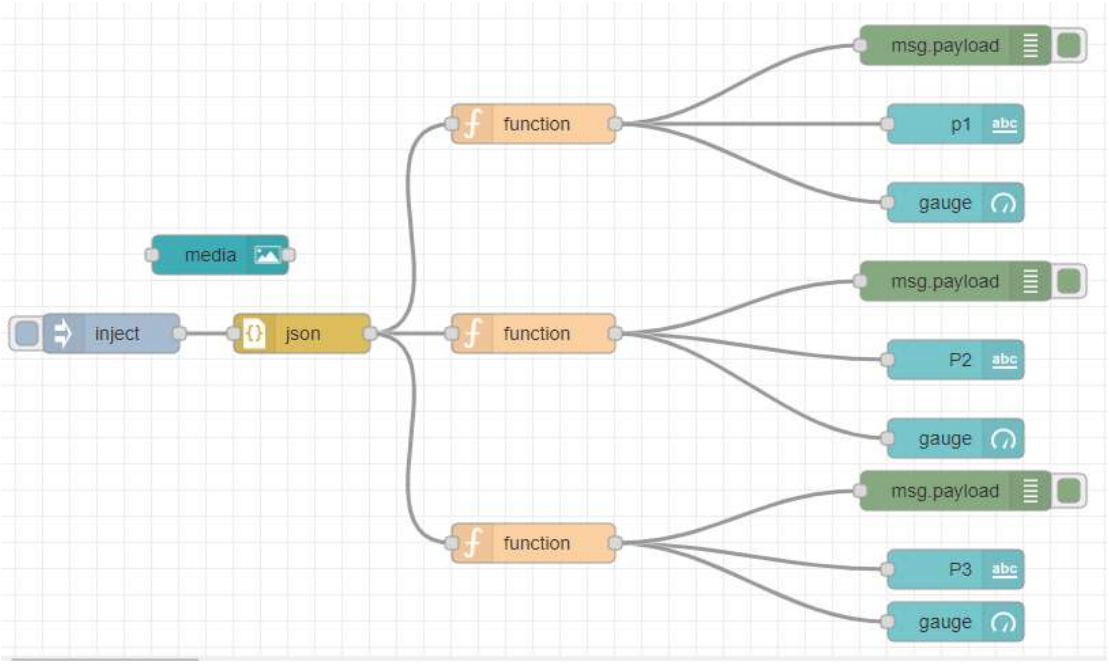



Figure III-32 : Flux d'affichage de taux

La configuration des différents nœuds est affichée dans la figure III.33 et la figure III.34

- **Programmation des nœuds**

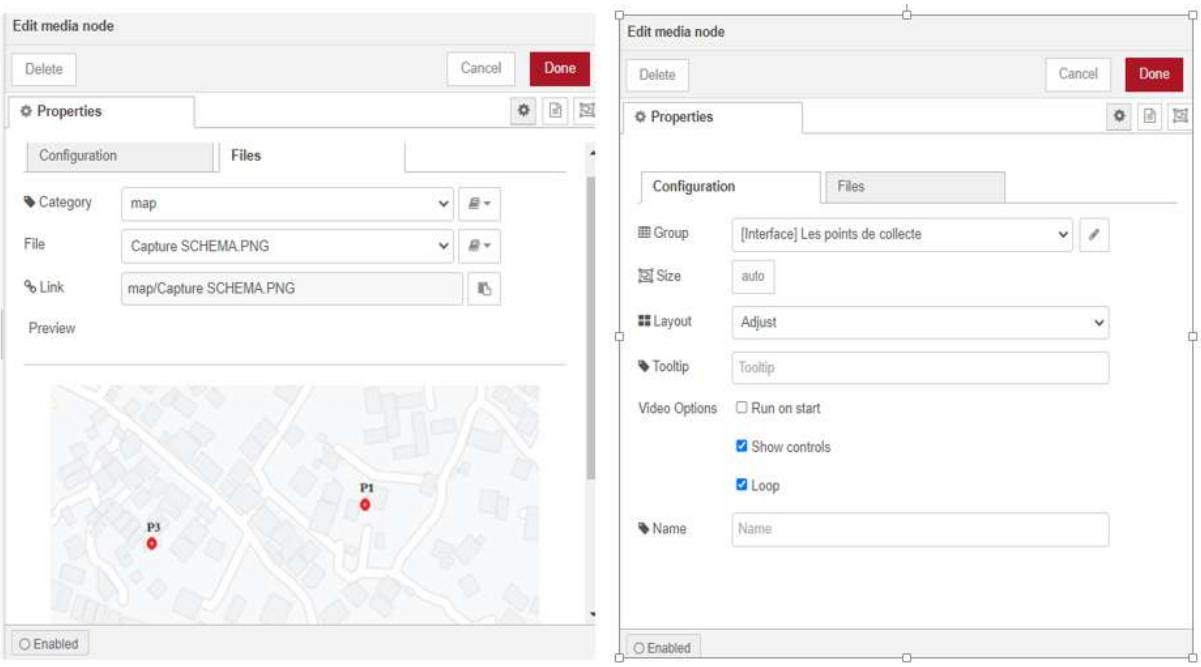



Figure III-33 : Configuration du nœud media

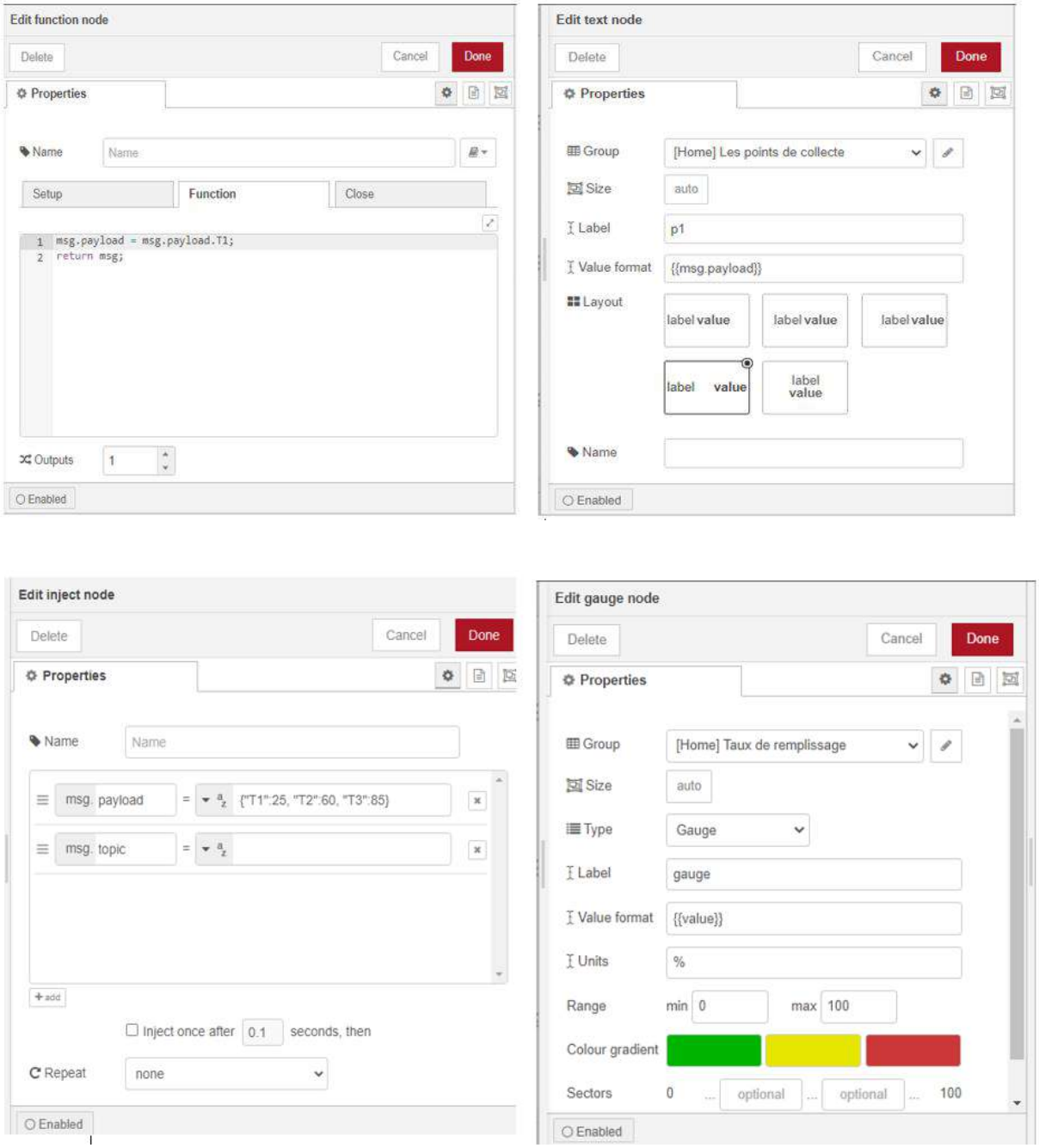



Figure III-34 : Configuration des nœuds

- **Resultat**

  La figure III-35 montre l'interface IHM realisé

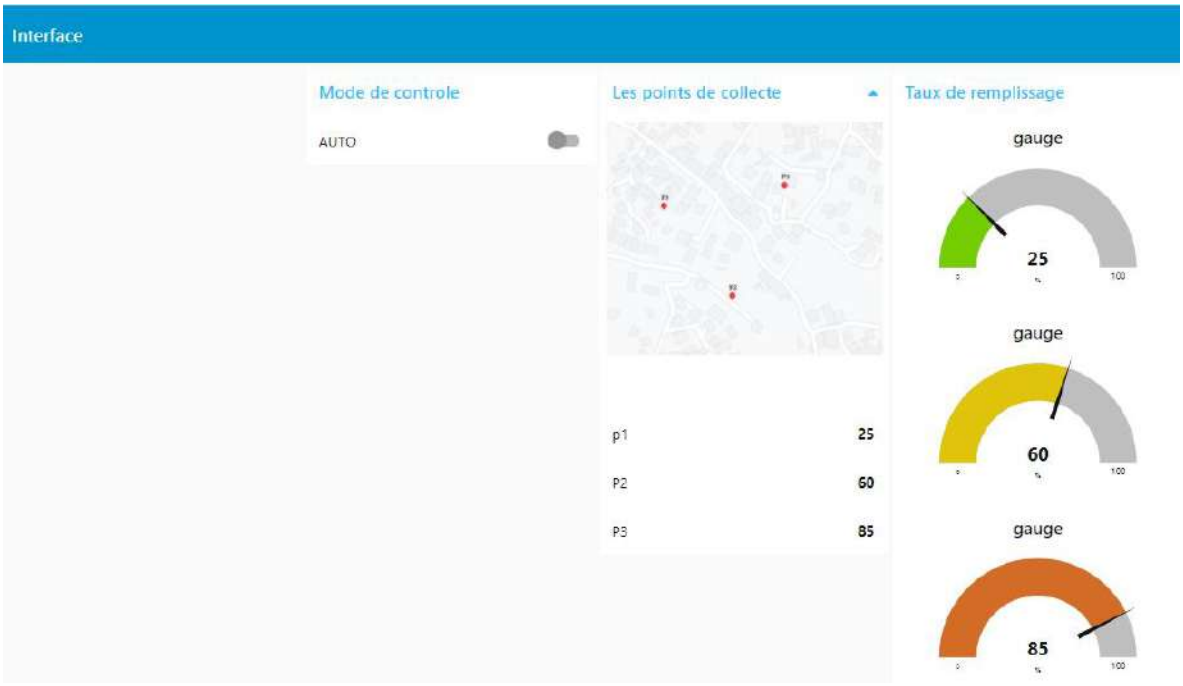



Figure III-35 : Interface IHM réalisé

L'interface affiche au responsable le choix de mode de contrôle en cliquant sur le switch « AUTO », ainsi que la visualisation des différentes points de collecte, et leurs taux de remplissage écrits par un texte et affichés dans des gauges avec des couleurs : le vert montre que le point n'est pas encore rempli, le jaune exprime qu'il est rempli à moitié et le rouge totalement rempli.

## III.10 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 d'Arduino comme microcontrôleur et Raspberry 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 à travers un calendrier défini, aussi les algorithmes d'optimisation appliqués apporte une amélioration par rapport à la méthode classique point de vue économique en empruntant le chemin le plus court et en choisissant les points les plus prioritaires.



# Conclusion Générale



La gestion de déchets en Algérie rencontre des difficultés, et la production des déchets ne cesse d'augmenter à cause d'urbanisation et la forte augmentation de la population ce qui présente des risques, pour cela et grâce à la miniaturisation nous pouvons proposer une solution qui est basé sur l'intégration de plusieurs objets qui communiquent sans fil à travers l'IoT.

L'objectif de notre travail est de faire l'étude et la réalisation d'un système de collecte intelligent basé sur l'internet des objets, et qui permet le contrôle et la supervision. Pour cela on a procédé à suivre des étapes bien définis, nous avons fait la conception de ce système en utilisant des différentes matériels montés autour de la carte Arduino, ainsi que des logiciels et algorithmes qui ont permet de déduire le chemin optimal (le plus court) pour la collecte des déchets et faciliter cette opération au conducteur et l'équipe de collecte, et pour la conception de l'interface IHM on a choisi la plate-forme Node-RED.

Notre projet est une contribution à l'amélioration de la gestion des déchets, précisément la collecte, cette solution proposée est testée et offre plusieurs avantages : d'abord, le système indique le taux de remplissage des bacs et le chemin le plus court pour les collecter par l'utilisation des deux algorithmes : sac à dos pour le choix des points à collecter dépend de leur priorités et le recuit simulé pour déduire le chemin optimal entre ces points. L'application de ces algorithmes d'optimisation réduit la distance et le temps parcouru par rapport à la méthode classique, et le Node-RED donne au responsable une interface facile à comprendre et permet la supervision et le contrôle en temps réel localement ou à distance, en plus le choix du mode de contrôle manuel ou automatique.

La réalisation de ce travail était une vraie valeur ajoutée pour notre formation, qui nous a permis d'apprendre plusieurs techniques comme la programmation d'Arduino et l'utilisation de Node-RED mais ce n'était pas achevé sans difficultés, on a rencontré quelques problèmes dans le fonctionnement de l'antenne Nrf et le module GPS à cause d'une mauvaise connexion des fils et difficulté de capter le signal de satellites, enfin tout travail est amené à être amélioré, en ce sens, notre système peut encore évoluer et se voir améliorer. Pour cela, nous proposons :

- L'ajout d'une base de données pour que le choix de la priorité des points de collecte soit dynamique.
- L'envoi des directions aux conducteurs des camions via une application ou une plate-forme.

- Proposition des nouveaux points de décharge (collecte) pour faciliter l'opération à l'équipe de collecte.
- La collecte sélective par la mise en place des bacs spéciaux pour les différents matériaux (papier, plastique, verre…Etc).
- Etablir une application pour les citoyens afin de déclarer les points non collectés et donner leur avis et plaintes.
- Mise en place d'une caméra dans les points de collecte.
- La supervision et le suivi des camions de collecte des déchets en temps réel.



# Bibliographie



# 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] K. Pardini, J. J. P. C. Rodrigues, S. A. Kozlov, N. Kumar, et V. Furtado, « IoT-Based Solid Waste Management Solutions: A Survey », *J. Sens. Actuator Netw.*, vol. 8, n° 1, p. 5, janv. 2019, doi: 10.3390/jsan8010005.

[3] T. Anh Khoa *et al.*, « Waste Management System Using IoT-Based Machine Learning in University », *Wirel. Commun. Mob. Comput.*, vol. 2020, p. 1-13, févr. 2020, doi: 10.1155/2020/6138637.

[4] S. S. Chaudhari et V. Y. Bhole, « Solid Waste Collection as a Service using IoT-Solution for Smart Cities », in *2018 International Conference on Smart City and Emerging Technology (ICSCET)*, Mumbai, janv. 2018, p. 1-5. doi: 10.1109/ICSCET.2018.8537326.

[5] AIT MAAMAR chahrazed et KECHOUT Aghiles, « Contribution à l'etude detat de la gestion des dechets menagers et assimilés dans la commune de Tizi-ouzou », Master, Mouloud Mammeri, Tizi-Ouzou, Algerie, 2016.

[6] BENZIANE Abdallah, « Contribution à l'etude de la gestion des dechets solides dans les deux communes "Terny et Ain Ghoraba" de la wilaya de Tlemcen », Master, ABOU BEKR BELKAID, Tlemcen, Algerie, 2013.

[7] Christian Ludwig, Stefanie Hellweg, et Samuel Stucki, *Municipal Solid Waste Management Strategies and Technologies for Sustainable Solutions*, 1re éd. New York, 2003.

[8] Per Nilsson, « Waste Collection: Equipment and Vehicles », in *Solid Waste Technology & Management*, vol. 1 & 2, United kingdom: WILEY, 2011, p. 23.

[9] Daniel A. Vallero, Fraser McLeod, et Tom Cherrett, « Waste collection », in *Waste a handbook for management*, 2eme éd., United States: Elsevier, 2019, p. 22.

[10] Willam A. Worrell et P. Aarne Vesilind, *Solid Waste Engineering*, 2eme éd. Stamford, USA: CENGAGE learning, 2010.

[11] Per Nilsson et Thomas H. Christensen, « Waste Collection: Systems and Organization », in *Solid Waste Technology & Management*, vol. 1 & 2, WILEY, 2011, p. 18.

[12] Eliot Epstein, *Disposal and Management of Solid Waste pathogens and diseases*. CRC Press, 2015.

[13] HAMICHI Massylia et ZEGHNI Sabrina, « Processus de gestion des déchets au niveau du CET de Bouira (Difficultés et perspectives) », AKLI MOHAND OULHADJ, Bouira, Algerie, 2019.

[14] Brahim DJEMACI, « La gestion des déchets municipaux en Algérie : Analyse prospective et éléments d'efficacité », doctorat, ROUEN, France, 2012.

[15] Saleh Imad, « Internet des Objets (IdO) : Concepts, Enjeux, Défis et Perspectives », *Internet Obj.*, vol. 2, n° 1, févr. 2018, doi: 10.21494/ISTE.OP.2018.0229.

[16] CHALAL Lina et SIROUAKNE Slimane, « Gestion des clés dans l'internet des objets », Master, A/Mira, Béjaia, Algerie, 2017.

[17] Carlos Granell, Andreas Kamilaris, Alexander Kotsev, Frank O. Ostermann, et Sergio Trilles, « Internet of Things », in *Manual of digital earth*, 2020, p. 37.

[18] Benjamin Billet, « Systeme de gestion de flux pour l'Internet des objets intelligents Data Stream Management System for the Future Internet of Things », doctorat, Versailles Saint-Quentin-En-Yvelines, France, 2015.

[19] INGUEL MALHA, « Conception et réalisation d'un système Domotique par GSM », Master Académique, Mouloud Mammeri, Tizi-Ouzou, Algerie, 2017.

[20] Génard Swinnen, *Apprendre a programmer avec python 3*. Paris, France: EYROLLES.

[21] BOUHARAOUA Abderrahim et BOUKLI HACENE Mohammed Imad, « Automatisation d'une maison intelligente via une application Android », Master, Aboubakr Belkaïd, Tlemcen, Algerie, 2017.

[22] « node red ». https://nodered.org/ (consulté le mars 25, 2021).

[23] K. Ferencz et J. Domokos, « Using Node-RED platform in an industrial environment », p. 13, 2020.

[24] Erik Bartman, *le grand livre darduino*, 2eme éd. Paris, France: EYROLLES, 2015.

[25] BENHAMADI Rachid, « Système de Supervision et de Contrôle base sur l'IOT Application dans un Centre de Transmission », Master professionnelle, EST, Kolea, Tipaza, 2019.

[26] ERREF ISMAIL, « Etude et réalisation d'une interface à base d'une carte Arduino pour la localisation d'un objet mouvement », Master, Blida -1- Institut d'Aéronautique et des Etudes Spatiales, Blida, Algerie, 2016.

[27] « nrf ». www.nordicsemiconducteur.com (consulté le avr. 07, 2021).

[28] OUALI ALAMI MOHAMMED, « La Conception d'une prise connectée basée sur la technologie d'IoT (Internet of Things) », Sidi Mohamed Ben Abdellah, Fes, Maroc, 2016.

[29] Kherroubi Farida et Medjahdi Wafaa, « Simulation d'une gestion par objet connectés de l'éclairage », Master, ABOU BEKR BELKAID, Tlemcen, Algerie, 2020.

[30] « gps ». https://create.arduino.cc/projecthub/ruchir1674/how-to-interface-gps-module-neo-6m-with-arduino-8f90ad (consulté le avr. 10, 2021).

[31] Julien JORGE, « Nouvelles propositions pour la résolution exacte du sac à dos multi-objectif unidimensionnel en variables binaires », de Nantes, France, 2020.

[32] Silvano Martello et Paolo Toth, *Knapsack Problems Algorithms and computer impementations*. Great Britain: JOHN WILEY & SONS, 1990.

[33] Mohammad Reza Bonyadi, Mostafa Rahimi Azghadi, et Hamed Shah-Hosseini, « Population-Based Optimization Algorithms for Solving the Travelling Salesman Problem », in *Travelling Salesman Problem*, Tehran, Iran, 2008.

[34] Amir NAKIB, « Conception de métaheuristiques doptimisation pour la segmentation d'images. Application a des images biomédicales », doctorat, PARIS 12-VAL DE MARNE, Paris, France, 2007.

[35] Sana Bouajaja et Najoua Dridi, « Méthode de Recuit Simulé pour l'optimisation de l'affection d'operateurs sur une ligne de production », *Int. J. Bus. Econ. Strategy*, vol. 5, n° 2, p. 7, 2016.

[36] BENDAHMANE Amine, « Le recuit simulé ». oct. 25, 2011.

[37] Dahmani Achedjan et Saidani Amira, « Conception d'un système de télécommunication RF pour la réception des signaux de fuite », MOHAMED BOUDIAF, Msila, Algerie, 2019.

[38] « Guide to NEO-6M GPS Module with Arduino ». https://randomnerdtutorials.com/guide-to-neo-6m-gps-module-with-arduino/#more-49434 (consulté le avr. 15, 2021).