



Mémoire de fin d'études

Pour l'obtention du diplôme

Master professionnel en informatique

Option : Administration et sécurité des réseaux informatiques

Gestion des déchets basée sur l'IoT et l'IA : cas d'étude BMT

Réalisé par :

Mlle. KEDDAD Kahina

Mlle. KHELIFA Nawel

Soutenu devant le jury composé de :

	Nom et Prénom	Grade
Président	MOKETFI Mohand	MCB
Examinatrice	MAAMERI Souhila	MCB
Encadrant	YAZID Mohand	Pr
Co-Encadrante	BRAHMI Saloua	Dr

Promotion : 2023/2024

Remerciements

Nous remercions tout d'abord Dieu Tout-Puissant pour Sa grâce et Sa bénédiction, ainsi que pour nous avoir donné le courage, la santé et la patience nécessaires pour entreprendre et terminer ce mémoire.

Nous exprimons notre profonde gratitude à nos parents pour leur soutien indéfectible et leurs encouragements constants tout au long de nos études. Leur amour et leur foi en nous ont été des sources de motivation inestimables.

Ce travail n'aurait pas été aussi enrichissant et n'aurait pas été possible sans l'aide et l'encadrement de Monsieur **YAZID Mohand** et Mademoiselle **BRAHMI Saloua**, qui nous ont fait bénéficier de la qualité de leur encadrement. Nous tenons à les remercier très chaleureusement pour leurs conseils judicieux, et pour leur contribution rigoureuse et ponctuelle lors de la préparation de ce mémoire.

Nous souhaitons également remercier chaleureusement l'ensemble du corps enseignant de l'Université de Béjaïa, et particulièrement les professeurs du département d'informatique, pour la qualité de leur enseignement.

Nos remerciements vont également aux membres du jury, pour avoir accepté d'évaluer ce travail. Leurs remarques et suggestions constructives seront d'une grande aide pour la suite de notre parcours académique et professionnel.

Nous tenons à exprimer notre reconnaissance à nos collègues et amis, qui ont partagé avec nous cette aventure académique. Leur soutien moral et intellectuel tout au long de notre parcours a été inestimable.

Merci à tous ceux qui, de près ou de loin, ont contribué à la réalisation de ce mémoire.

Dédicace

“

Je tiens à dédier ce travail À mon Dieu, pour sa guidance divine et ses bénédictions infinies. Sans ta lumière, ce voyage n'aurait pas été possible.

À ma famille, pour leur amour inconditionnel et leur soutien indéfectible. Vous avez toujours cru en moi, même dans les moments de doute. Votre foi en moi m'a donné la force de persévérer.

À mes sœurs et frères, pour leur encouragement constant et leur présence réconfortante. Vous êtes ma source d'inspiration et de motivation.

À mes chers amis, pour les moments de partage, les éclats de rire et l'amitié sincère. Votre soutien et vos encouragements m'ont été d'une aide précieuse.

”

-kahina-

Dédicace

“

Je dédie ce travail

À ma très chère maman,

Tes sacrifices incalculables ont toujours été une source d'encouragement pour moi. Tu es toujours là pour moi, depuis le tout début.

À mon cher père,

Tu m'as donné tout ton amour et tu as fait tellement de sacrifices pour que je puisse étudier dans de bonnes conditions.

À mes grands frères Yacine et Nadir,

Je suis reconnaissante de vous avoir dans ma vie. Vous avez toujours été là pour moi. Je me considère chanceuse d'avoir des frères comme vous.

À mes chères sœurs Siham et Katia,

Merci d'avoir contribué à la réussite de ce travail d'une manière indirecte et pour tout le soutien moral. Vous avez toujours été là pour moi.

À Monsieur Khaldi et à ma chère copine Amina,

Je vous adresse toute ma gratitude pour votre soutien et votre aide précieuse durant les moments difficiles.

”

-Nawel-

Résumé

L'Internet des Objets (IoT) et l'Intelligence Artificielle (IA) offrent des solutions novatrices pour de nombreux domaines, dont la gestion des déchets. Ce mémoire se concentre sur l'application de ces technologies au BMT pour optimiser les processus de cette gestion.

Nous commençons par une présentation des concepts fondamentaux de l'IoT , en mettant en lumière son potentiel dans l'amélioration de gestion. Ensuite, nous analysons ses méthodes traditionnelles à BMT, identifiant les défis et les inefficacités actuels.

Nous proposons un système intelligent de gestion des déchets utilisant des capteurs IoT et des algorithmes d'IA pour optimiser les itinéraires de collecte et prévoir les besoins de maintenance.

Les résultats de cette étude montrent que l'intégration de l'IoT et de l'IA permet de réduire les coûts opérationnels, d'améliorer l'efficacité des collectes, et de diminuer l'impact environnemental. Les conclusions soulignent le potentiel transformateur de ces technologies dans la gestion des déchets, offrant des solutions plus durables et efficaces.

Mots clés : IdO , Gestion des déchets, BMT , IA,

Abstract

The Internet of Things (IoT) and Artificial Intelligence (AI) offer innovative solutions for various fields, including waste management. This thesis focuses on applying these technologies to BMT to optimize waste management processes.

We begin with an introduction to the fundamental concepts of IoT, highlighting its potential to improve waste management. Next, we analyze the traditional waste management methods at BMT, identifying current challenges and inefficiencies.

We propose an intelligent waste management system using IoT sensors and AI algorithms to optimize collection routes and predict maintenance needs.

The results of this study show that integrating IoT and AI can reduce operational costs, improve collection efficiency, and reduce environmental impact. The conclusions emphasize the transformative potential of these technologies in waste management, offering more sustainable and efficient solutions.

Keywords : IoT , Waste managements, AI, BMT

Table des matières

Liste des acronymes	1
Liste des figures	3
Liste des tableaux	5
Introduction générale	6
1 Généralités sur l'Internet des Objets	7
1.1 Introduction	8
1.2 Définition <i>Internet of things</i> (IoT)	8
1.3 Composants de l'IoT	9
1.3.1 Les capteurs	9
1.3.2 Les Actionneurs	9
1.3.3 Objet connecté	9
1.3.4 Objet Intelligent	10
1.4 Caractéristiques de l'IoT	10
1.5 Architecture de l'IoT	10
1.5.1 Couche de perception	11
1.5.2 Couche réseau	11
1.5.3 Couche de traitement des données	11
1.5.4 Couche d'application	11
1.5.5 Couche de sécurité	12
1.6 Innovations technologiques de l'IoT	12
1.6.1 <i>Radio-Frequency Identification</i> (RFID)	12
1.6.2 <i>Wireless Sensor Network</i> (WSN)	13
1.6.3 <i>Machine-to-Machine</i> (M2M)	13
1.7 Fonctionnement de l'IoT	14
1.7.1 Collecter ou Actionner	14
1.7.2 Communiquer	14
1.7.3 Executer	15
1.7.4 Visualiser	15
1.8 Technologies IoT et protocoles	15
1.8.1 Technologies de communications	15
1.8.2 Les protocoles de communication IoT	17
1.9 Domaines d'applications de l'IoT	19
1.9.1 Domaine de santé	19
1.9.2 La domotique	20

1.9.3	ville intelligente	20
1.9.4	L'agriculture	21
1.9.5	la sécurité et la surveillance	22
1.9.6	domaine de transport	22
1.10	L'internet des objets pour la surveillance de l'environnement	23
1.10.1	Nécessité de surveiller l'environnement	23
1.10.2	Méthodes traditionnels vs IoT pour la surveillance de l'environnement	23
1.10.3	Domaines d'applications de l'IoT pour la surveillance de l'environnement	24
1.11	défis et enjeux	28
1.12	Conclusion	29
2	Gestion de déchets : cas d'étude <i>Bejaia Méditerranéen Terminal (BMT) Béjaia</i>	30
2.1	Introduction	31
2.2	Généralités sur les déchets	31
2.2.1	Définition de déchets	31
2.2.2	Type de déchets et ces origines	32
2.3	Présentation du BMT	33
2.3.1	Organigramme de BMT et ses différentes structures : [document interne de l'entreprise]	33
2.3.2	Types des déchets au sein du BMT	35
2.3.3	Gestion des déchets sein du BMT	36
2.4	Défis de la gestion traditionnelle des déchets sur l'environnement et sur BMT	38
2.5	Conclusion	39
3	Gestion des déchets intelligente	40
3.1	Introduction	42
3.2	Les Technologies de la Gestion intelligente des déchets	42
3.2.1	Poubelles intelligentes	42
3.2.2	Les bacs intelligents	44
3.2.3	Utilisation de drones	45
3.2.4	Robots de Tri Automatisé	46
3.3	Capteurs utilisés pour ces solutions	47
3.4	Choix des solutions intelligentes	49
3.4.1	Facteurs pour choisir la solution approprié	49
3.4.2	Etude comparative entre les différentes solutions	50
3.4.3	Choix de la solution la plus approprié pour l'entreprise BMT	51
3.4.4	Base de la procédure : Identification des déchets	51
3.5	Machine Learning	54
3.5.1	Les méthodes d'apprentissage du ML	54
3.5.2	Algorithmes du problème de classification	55
3.6	Deep Learning	55
3.6.1	Convolutional Neural Network (CNN)	56

Table des matières

3.6.2	YOLO	57
3.7	Présentation des outils de développement	58
3.7.1	Langage de programmation utilisé(Python)	58
3.7.2	Description du système	58
3.8	Conclusion	61
	Conclusion et perspectives	62
	Bibliographie	63
	Webographie	64

Liste des acronymes

BLE	<i>Bluetooth LowEnergy</i>
BMT	<i>Bejaia Méditerranéen Terminal</i>
BSD	<i>Bordereau de Suivi des Déchets</i>
CNN	<i>Convolutional Neural Network</i>
CoAP	<i>Constrained Application Protocol</i>
DFC	<i>Direction des Finances et de la Comptabilité</i>
DI	<i>Déchets Inertes</i>
DG	<i>Direction Générale</i>
DM	<i>Direction Marketing</i>
DMA	<i>Déchets Ménagers et Assimilés</i>
DO	<i>Direction des Opérations</i>
DRH	<i>Direction des Ressources Humaines</i>
DS	<i>Déchets Spéciaux</i>
DSD	<i>Déchets Spéciaux Dangereux</i>
DT	<i>Direction Technique</i>
EPB	<i>Entreprise Portuaire de Bejaia</i>
GSM	<i>Global System for Mobile Communications</i>

HSE	<i>Health, Safety, and Environment</i>
HTTP	<i>Hypertext Transfer Protocol</i>
IA	<i>Intelligence Artificielle</i>
IdO	<i>Internet des objets</i>
IoT	<i>Internet of things</i>
LoRa	<i>Long Range</i>
LPWAN	<i>Low-Power Wide-Area Network</i>
MQTT	<i>Message Queuing Telemetry Transport</i>
M2M	<i>Machine-to-Machine</i>
NFC	<i>Near Field Communication</i>
RFID	<i>Radio-Frequency Identification</i>
RH	<i>Ressources Humaines</i>
SIM	<i>Subscriber Identity Module</i>
UDP	<i>User Datagram Protocol</i>
WSN	<i>Wireless Sensor Network</i>
YOLO	<i>You Only Look Once</i>

Table des figures

1.1	Internet of things	8
1.2	Architecture de l'internet des objets	11
1.3	Fonctionnement du système RFID	12
1.4	WSN	13
1.5	décomposition d'un système IoT	14
1.6	NFC	15
1.7	Réseau Wi-Fi	16
1.8	SigFox	17
1.9	<i>Message Queuing Telemetry Transport</i> (MQTT)	18
1.10	<i>Constrained Application Protocol</i> (CoAP)	19
1.11	domaine de santé	19
1.12	domotique	20
1.13	ville intelligente	21
1.14	L'agriculture	21
1.15	securite et surveillance	22
1.16	domaine transport	22
1.17	Insighrobotics	24
1.18	Gestion des eaux	25
1.19	station surveillance de la qualité d'air	25
1.20	panneaux solaires	26
1.21	séisme	26
1.22	faunes	27
1.23	fonction poubelle intelligent	27
1.24	poubelle intelligente	28
2.1	BMT	33
2.2	Organigramme de BMT	34
2.3	Organigramme et procédure de gestion déchets au sein du BMT	36
3.1	Drone maritime	45
3.2	Drone Volant	46
3.3	AMP robotique	46
3.4	Procédure de la gestion de déchets	51
3.5	Drone équipé de caméras	52
3.6	Methodes d'apprentissage	54
3.7	Deep Learning	56
3.8	Les couches de CNN	56
3.9	Fonctionnement de YOLO	57

Table des figures

3.10 Description du système utilisé	59
3.11 conception du classifieur	60

Liste des tableaux

2.1	Type des déchets et ces origines	32
2.2	Types de déchets au sein du BMT	35
3.1	Poubelles intelligentes	43
3.2	Bacs intelligents	44
3.3	Capteurs	47
3.4	Capteurs suite	48
3.5	Comparaison des solutions selon les différents facteurs	50
3.6	Choix du solution pour BMT	51

Introduction générale

La gestion des déchets est un défi mondial majeur qui affecte directement la santé publique, l'environnement et l'économie. Avec l'augmentation constante de la population et l'urbanisation rapide, les méthodes traditionnelles de gestion des déchets deviennent de plus en plus inefficaces et coûteuses. Il est donc crucial de trouver des solutions innovantes et durables pour améliorer ces processus.

L'Internet des Objets (IoT) et l'Intelligence Artificielle (IA) représentent des avancées technologiques significatives capables de révolutionner la gestion des déchets. L'IoT permet la collecte en temps réel de données précises à travers des capteurs intelligents, tandis que l'IA offre des capacités d'analyse et de prédiction avancées. Ces technologies combinées peuvent optimiser les itinéraires de collecte, prévoir les besoins de maintenance et réduire les coûts opérationnels.

Ce mémoire vise à explorer l'application de l'IoT et de l'IA dans la gestion des déchets au sein du Béjaïa Méditerranéen Terminal (BMT). Plus spécifiquement, les objectifs sont : présenter les concepts fondamentaux de l'IoT et de l'IA et leur pertinence dans l'amélioration des processus de gestion des déchets ; analyser les méthodes traditionnelles de gestion des déchets au BMT, en identifiant les défis et les inefficacités actuelles ; proposer un système intelligent de gestion des déchets intégrant des capteurs IoT et des algorithmes d'IA pour optimiser les opérations.

Le mémoire est structuré comme suit : le premier chapitre introduit les concepts de base de l'IoT, ses composants, son architecture et ses innovations technologiques ; le deuxième chapitre présente une analyse détaillée de la gestion actuelle des déchets au BMT, les types de déchets traités, et les défis rencontrés ; le troisième chapitre propose une solution innovante en intégrant l'IoT et l'IA, et discute des avantages potentiels de cette approche. Enfin, la conclusion résume les résultats de l'étude et propose des recommandations pour l'implémentation des technologies IoT et IA dans d'autres contextes.

L'intégration de l'IoT et de l'IA dans la gestion des déchets offre une opportunité unique de transformer ce secteur crucial. En abordant les défis actuels avec des solutions technologiques avancées, nous pouvons améliorer l'efficacité opérationnelle, réduire les coûts et minimiser l'impact environnemental. Ce mémoire contribue à la compréhension de ces technologies et propose des applications pratiques pour un avenir plus durable.

Chapitre 1

Généralités sur l'Internet des Objets

1.1 Introduction

L'avènement de l'Internet des Objets (IoT) a ouvert de nouvelles perspectives passionnantes dans la manière dont nous percevons et interagissons avec le monde qui nous entoure. Cette révolution technologique repose sur la capacité à connecter des objets physiques à Internet, leur permettant ainsi de collecter, d'échanger et d'agir sur des données de manière autonome et intelligente.

Dans ce chapitre introductif, nous plongerons dans l'univers fascinant de l'IoT, explorant ses concepts fondamentaux, ses composants essentiels, son architecture, ainsi que ses applications variées. Nous commencerons par définir précisément ce qu'est l'IoT et ce qu'il représente.

Nous analyserons ensuite les caractéristiques distinctives de l'IoT, mettant en lumière sa connectivité, sa sensibilité accrue aux données, son interactivité dynamique et les défis de sécurité qui y sont associés. Par la suite, nous plongerons dans l'architecture complexe de l'IoT, en décomposant ses différentes couches fonctionnelles et en soulignant l'importance cruciale de chacune dans le processus global de fonctionnement.

Enfin, nous explorerons les technologies clés qui alimentent l'IoT, des technologies de communication à courte, moyenne et longue portée, aux protocoles de transmission de données comme *Hypertext Transfer Protocol* (HTTP), MQTT et CoAP. Nous clôturerons ce chapitre en examinant divers domaines d'application de l'IoT, en mettant particulièrement l'accent sur son utilisation dans la surveillance de l'environnement.

1.2 Définition IoT

L'apparition de l'Internet des Objets (*Internet des objets* (IdO)) marque une révolution technologique où les objets du quotidien deviennent interconnectés et intelligents. L'Internet des Objets transforme les simples objets en des entités capables de collecter, communiquer et d'agir en fonction des données qu'ils génèrent, créant un réseau dynamique qui redéfinit notre manière d'interagir avec le monde qui nous entoure.



FIG. 1.1 – Internet of things

L'IoT est une technologie complexe qui a été définie de diverses manières par différents auteurs :

- Rahim Tafazolli l'a défini comme des objets ayant des identités et des personnalités virtuelles, opérant dans des espaces intelligents et utilisant des interfaces intelligentes pour se connecter et communiquer au sein de contextes d'usages variés .[33].

- Benghozi l'a définit comme un réseau de réseaux qui permet, via des systèmes d'identification électronique normalisés et unifiés, et des dispositifs mobiles sans fil, d'identifier directement et sans ambiguïté des entités numériques et des objets physiques et ainsi de pouvoir récupérer, stocker, transférer et traiter, sans discontinuité entre les mondes physiques et virtuels, les données s'y rattachant . [7]

- Christophe l'a définit comme un réseau qui relie et combine les objets avec l'Internet, en suivant les protocoles qui assurent leurs communications et échange d'informations à travers une variété de dispositifs . [12]

1.3 Composants de l'IoT

L'Internet des objets (IoT) est un réseau de dispositifs physiques interconnectés qui collectent et échangent des données via Internet. Voici les principaux composants de l'IoT :

1.3.1 Les capteurs

Un capteur est un appareil conçu pour percevoir des informations émanant de l'environnement physique et y répondre. Ces informations peuvent inclure la lumière, le mouvement, la pression, ainsi que divers autres phénomènes environnementaux . Les capteurs représentent un composant essentiel dans un système d'acquisition de données. [11]

1.3.2 Les Actionneurs

Les actionneurs sont des dispositifs qui transforment des données numériques en phénomènes physiques pour effectuer une action. Ils représentent essentiellement l'inverse des capteurs. Voici quelques exemples d'actionneurs : afficheurs, alarmes, caméra...etc. [6]

1.3.3 Objet connecté

Les objets connectés font référence à des dispositifs intelligents capables d'échanger des informations avec d'autres objets (souvent une montre, un smartphone, une TV, une tablette ou un ordinateur) via des réseaux sans fil tels que le Wifi, le Bluetooth ou les réseaux de téléphonie mobile. En 2020, leur marché avait déjà atteint les 50 milliards d'objets. Ils communiquent avec leur environnement grâce à des capteurs qui peuvent mesurer des paramètres tels que la température, la vitesse, l'humidité, les vibrations...etc.

Cette capacité leur permet de collecter des données, de les transmettre en temps réel et parfois de les traiter pour faciliter la prise de décision ou déclencher une action. [23]

1.3.4 Objet Intelligent

Les objets intelligents, également connus sous le nom de Smart Objects en anglais, sont des objets physiques courants de la vie quotidienne tels que des vêtements, des pneus de voiture, des boîtes de médicaments, etc. Ces objets sont équipés de capteurs et d'actionneurs, leur permettant d'offrir de nouveaux services et fonctionnalités au-delà de leur utilisation traditionnelle. Dotés d'appareils électroniques, ils peuvent communiquer et échanger des données avec d'autres entités physiques ou numériques via un réseau connecté à Internet ou à un réseau local. [26]

1.4 Caractéristiques de l'IoT

L'IoT présente plusieurs caractéristiques essentielles

- **Connectivité** : Les appareils doivent être reliés au réseau, que ce soit via Wifi, Bluetooth, Ethernet ou d'autres moyens, pour interagir avec les utilisateurs et d'autres appareils ou systèmes.
- **Sensibilité** : Grâce aux capteurs, les appareils peuvent détecter des mouvements, des températures et d'autres paramètres environnementaux.
- **Interaction** : L'IoT utilise des interfaces et des systèmes de communication pour établir des relations entre les personnes, les appareils et le monde physique.
- **Sécurité** : Étant connectés au réseau et échangeant des données, les équipements IoT doivent bénéficier de mesures de sécurité pour protéger leur intégrité et leur confidentialité.

1.5 Architecture de l'IoT

L'Internet des objets a été étudié pendant plus de dix ans, mais de nombreuses zones d'ombre subsistent. Actuellement, il n'existe pas de standard architectural spécifique pour l'IoT. Néanmoins, une architecture en quatre couches est largement acceptée pour connecter le monde physique des objets au monde virtuel des réseaux [22], comme le montre la figure suivante :

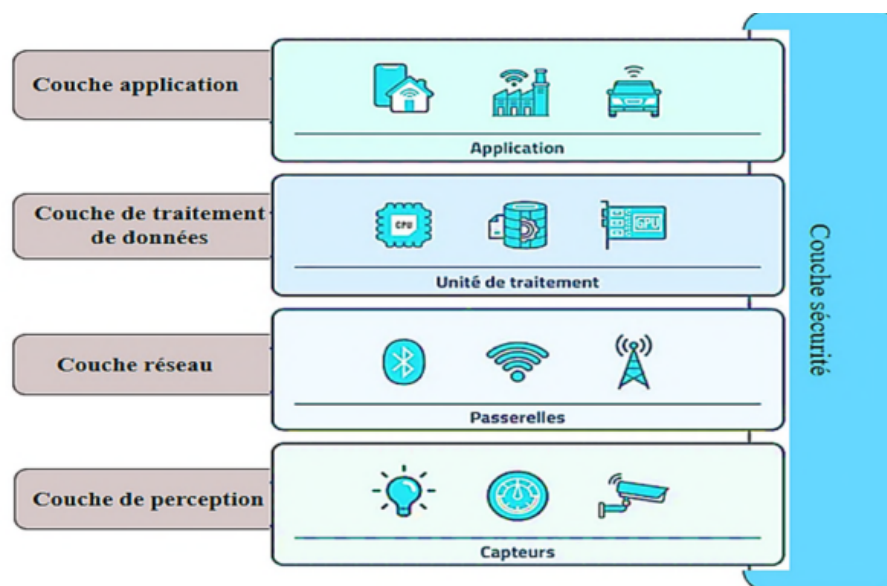


FIG. 1.2 – Architecture de l'internet des objets

1.5.1 Couche de perception

Cette couche, située au niveau périphérique ou sur l'objet lui-même, est équipée de capteurs et d'actionneurs pour collecter des informations sur l'environnement. Ces données sont ensuite transmises à la couche réseau pour un traitement ultérieur.

1.5.2 Couche réseau

Également connue sous le nom de "couche de transmission", elle assure la connexion, le transport et le traitement sécurisé des données en provenance des capteurs et des actionneurs. Les communications entre les appareils et les services cloud ou les passerelles utilisent diverses technologies telles que l'Ethernet, les réseaux cellulaires et le Wifi.

1.5.3 Couche de traitement des données

Cette couche, souvent appelée couche middleware, stocke, analyse et traite d'importantes quantités de données provenant de la couche de transport. Elle peut offrir une variété de services aux couches inférieures, utilisant des technologies telles que les bases de données, le cloud computing et les outils de traitement des mégadonnées.

1.5.4 Couche d'application

Responsable de la gestion des applications basées sur les données traitées dans la couche middleware, elle fournit à l'utilisateur des services spécifiques et des applications intelligentes.

1.5.5 Couche de sécurité

Transversale à toutes les autres couches, elle garantit la sécurité de l'IoT, un aspect primordial de son fonctionnement.

1.6 Innovations technologiques de l'IoT

Dans le contexte de l'IoT (Internet des Objets), les termes RFID, M2M et WSN représentent des technologies fondamentales et complémentaires qui contribuent à la mise en œuvre et au fonctionnement de l'IoT. En résumé elles sont des technologies clés de l'internet des objets qui permettent respectivement l'identification des objets, la communication entre les machines, et la collecte de données à partir de capteurs sans fil.

1.6.1 RFID

La RFID est une technologie sans fil utilisée pour identifier les objets. Elle fonctionne avec des étiquettes RFID, des petites puces avec des antennes, qui transportent des données lues par un lecteur RFID. Cette technologie utilise les ondes radio pour l'identification automatique des objets ou des personnes. La RFID couvre un ensemble de bandes de fréquences allant de 125 kHz à 10 GHz. Sa portée varie selon la fréquence utilisée, allant de quelques mètres à des centaines de mètres. [9] la figure montre le fonctionnement d'un système RFID :

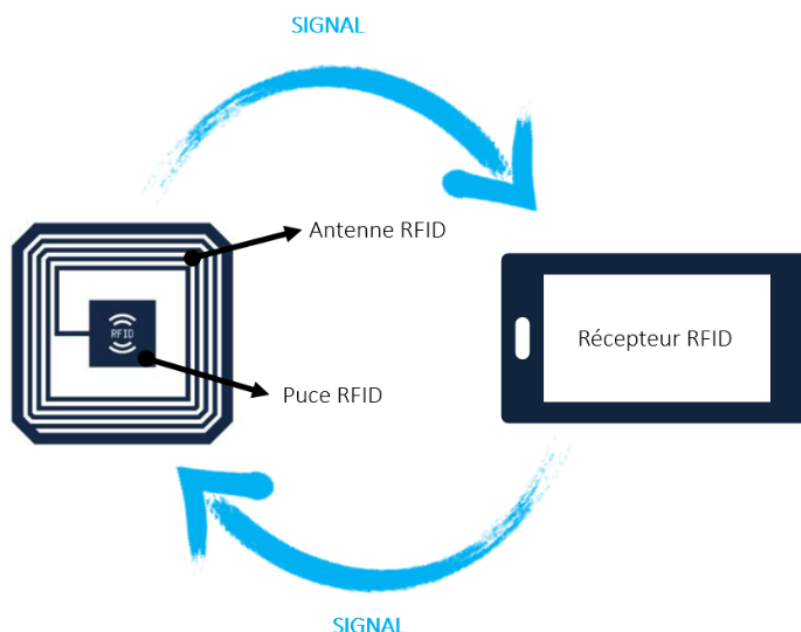


FIG. 1.3 – Fonctionnement du système RFID

1.6.2 WSN

Un réseau de capteurs WSN (Wireless Sensor Network) est un réseau composé d'un ensemble de nœuds-capteurs, ces derniers sont capables de collecter, traiter, analyser des informations et communiquent via des ondes radio afin de surveiller des phénomènes précis. Un nœud capteur est composé généralement d'interfaces de capture de l'information, d'un microprocesseur, d'une unité mémoire, d'une interface de communication et d'une batterie comme source d'énergie . [10] Il y a quatre composants de base dans un réseau de capteurs , Illustrer dans la figure suivante :

- Ensemble de capteurs distribués ou localisés .
- Réseau d'interconnexion (habituellement, mais pas toujours, sans fil).
- Point central appelé puits (Sink) pour le regroupement et le traitement de l'information.
- Ensemble de ressources informatiques déployées sur le Sink pour traiter les données, l'évolution des événements, le statut requêtes.

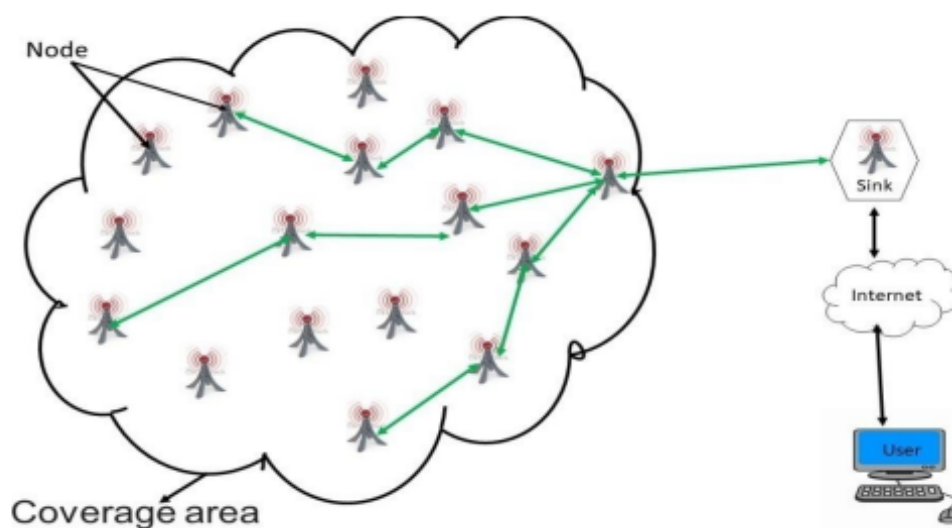


FIG. 1.4 – WSN

1.6.3 M2M

C'est l'association des technologies de l'information et de la communication avec des objets intelligents. Permettant une communication entre différentes machines ou équipements (véhicules, capteurs, caméras) connectés à différents réseaux sans l'intervention de l'humain. Les applications M2M utilisent différentes interfaces et protocoles pour les échanges entre les différents réseaux mobiles par exemple. [14]

1.7 Fonctionnement de l'IoT

Les objets connectés se multiplient partout, à la maison comme au travail. Ils peuvent être utiles pour automatiser des choses comme la gestion de la maison ou dans des secteurs comme l'industrie ou la santé. Les plateformes IoT aident à les faire fonctionner ensemble. Mais tout ça, c'est compliqué, car ça mélange beaucoup de technologies : des appareils, des programmes informatiques, internet et les applications sur téléphone. Pour réussir à créer un projet IoT, il faut une équipe avec différentes compétences. On peut décomposer un système IoT en 4 fonctionnalités distinctes comme le montre la figure ci-dessous :

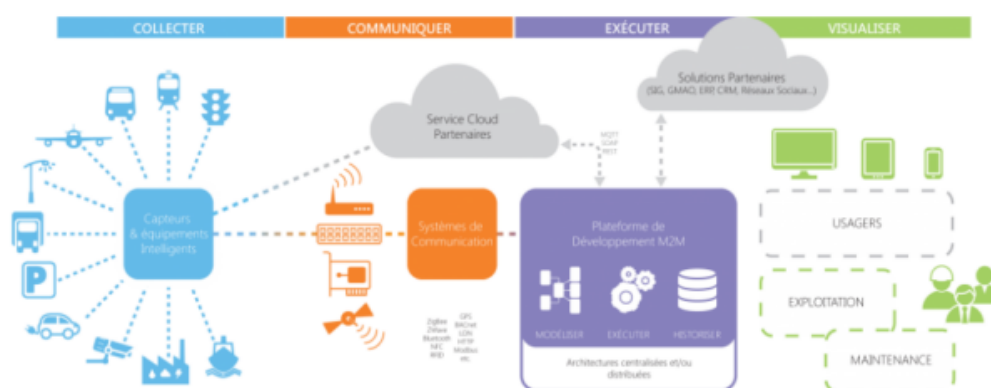


FIG. 1.5 – décomposition d'un système IoT

1.7.1 Collecter ou Actionner

À ce stade, nous parlons des objets connectés eux-mêmes. Ils sont équipés de capteurs pour mesurer des aspects de l'environnement physique comme la température, l'humidité ou le bruit, et d'actionneurs qui peuvent agir sur cet environnement, par exemple en actionnant des moteurs pour ouvrir ou fermer une porte. Certains de ces objets ont des capacités électroniques, informatiques et de réseau leur permettant de se connecter directement à Internet. Cependant, en général, en raison de limitations matérielles et logicielles telles qu'une autonomie limitée, une capacité de traitement restreinte ou l'absence de pile réseau, ces objets utilisent des protocoles de communication à basse énergie ou à faible débit et se connectent à Internet via une passerelle appelée "gateway".

1.7.2 Communiquer

À ce stade, nous facilitons l'envoi des données depuis le réseau local vers le cloud. Nous nous concentrons principalement sur les protocoles permettant de transporter ces données.

1.7.3 Executer

À cette étape, nous entrons dans la phase de stockage et de traitement des données. On parle souvent de "Plate-forme IoT", qui est généralement une solution cloud capable de connecter plusieurs objets connectés, de stocker leurs données, de les traiter, de les analyser et de les rendre disponible via différentes applications. Les plateformes IoT permettent également de faire communiquer des objets de natures différentes entre eux.

1.7.4 Visualiser

C'est l'étape qui permet d'exposer les services des objets connectés à travers différentes applications dédiées. Un utilisateur, à travers une application mobile, peut par exemple communiquer avec ses objets en consultant leurs données ou en envoyant des actions vers ses objets

1.8 Technologies IoT et protocoles

1.8.1 Technologies de communications

L'IoT interconnecte des objets intelligents via Internet, impliquant diverses technologies pour identifier, capturer, stocker, traiter et transférer des données. Son principal objectif est la connectivité et le traitement des données pour permettre l'interopérabilité des objets connectés. Voici quelques-unes des principales technologies impliquées :

1.8.1.1 Les technologies de courte portée

- NFC (Near Field Communication) :

Le protocole NFC utilise la technologie RFID pour permettre une communication sans fil sur de courtes distances. Les objets équipés de puces RFID sont détectés par radiofréquence à proximité d'un lecteur. NFC facilite la communication entre deux appareils électroniques sans connexion physique, idéal pour le paiement sans contact et le partage de données entre appareils mobiles. [19]



FIG. 1.6 – NFC

- Zigbee et ZigBee PRO :

C'est un protocole de communication radio développés par ZigBee Alliance, conçu pour la domotique et ZigBee PRO pour les réseaux industriels de contrôle, offrant une portée moyenne de 100 mètres. Il utilise une faible bande passante, adaptée au transfert de données à faible volume. Peu énergivore, il est idéal pour les appareils alimentés par pile ou batterie, notamment les capteurs. [19]

- Bluetooth :

C'est un protocole sans fil couramment utilisé pour le transfert de données entre appareils, comme les smartphones, offre une faible consommation d'énergie et une portée d'environ 60 mètres en terrain dégagé. Employé dans diverses applications comme les oreillettes sans fil et les montres intelligentes, il joue un rôle crucial dans l'IoT, notamment avec la dernière version, le Bluetooth 5. [19]

1.8.1.2 Les technologies de moyenne portée

- Bluetooth LowEnergy (*Bluetooth LowEnergy* (BLE)) : BLE est un protocole sans fil à très basse consommation d'énergie, permettant le transfert de données sur une distance moyenne de 60 mètres. Comparé au Bluetooth traditionnel, le BLE nécessite dix fois moins de consommation électrique pour la communication. [19]

- Wi-Fi : C'est un ensemble de protocoles sans fil permettant des connexions haut débit sur des distances de 20 à 100 mètres. Avec la capacité de transférer rapidement de grandes quantités de données jusqu'à 600 mbps, elle est très énergivore, adaptée principalement aux appareils connectés au secteur, comme les caméras de surveillance. Son portée est de 250 mètres en extérieur et de 35 mètres en intérieur . [19]

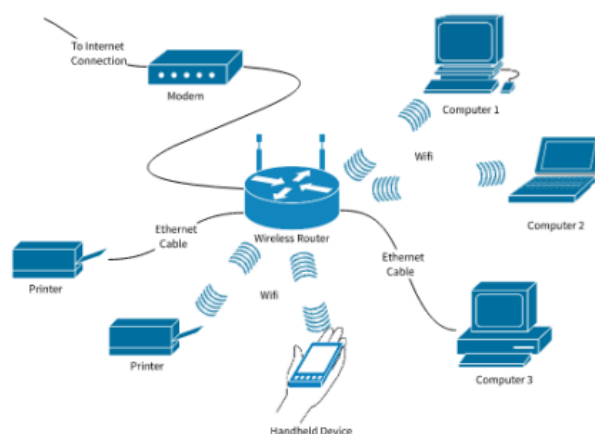


FIG. 1.7 – Réseau Wi-Fi

- EnOcean :

C'est une technologie qui émerge. Elle n'utilise pas de batterie comme les autres technologies et les capteurs utilisent l'énergie de leur environnement immédiat (en utilisant des panneaux solaires par exemple). EnOcean utilise les fréquences autour de 868 MHz et 315 MHz et a une portée de 300 mètres en communication libre . [1]

1.8.1.3 Les technologies de longue portée

- Réseaux cellulaires mobiles : Fournis par les opérateurs de télécommunication, les réseaux cellulaires mobiles, basés sur la technologie *Global System for Mobile Communications* (GSM) , permettent de transférer une quantité importante de données à une longue portée. Ils nécessitent l'installation d'une carte *Subscriber Identity Module* (SIM) dans l'appareil à connecter, afin d'identifier celui-ci sur le réseau de communication . [19]

- *Long Range* (LoRa) : (Long Range) est un protocole de communication sans fil conçue pour fournir les réseaux étendus de faible consommation et grande portée et une transmission de données sécurisée. La norme LoRa a été développée pour les dispositifs de type IoT dans les réseaux régionaux ou mondiaux. [27]

- SigFox : La technologie *Low-Power Wide-Area Network* (LPWAN) est conçue pour les objets à faible consommation comme les capteurs et les applications M2M. Elle permet le transfert de petites quantités de données sur des distances allant jusqu'à 50 kilomètres. Utilisée dans divers domaines comme les compteurs intelligents, les moniteurs de patients, l'agriculture, la sécurité, l'éclairage public et les capteurs environnementaux. [28]



FIG. 1.8 – SigFox

1.8.2 Les protocoles de communication IoT

Les protocoles IoT facilitent les échanges de données entre les appareils connectés, en prenant en compte les contraintes de l'IoT telles que la consommation d'énergie et la bande passante limitées. Ils fournissent des fonctionnalités comme la découverte des périphériques, le transfert de messages et la sécurité des données.[15]

Parmi les protocoles les plus courants, on trouve :

1.8.2.1 HTTP

HTTP (Hypertext Transfer Protocol) est un protocole couramment utilisé sur Internet pour échanger des données lors de la consultation de sites Web. Cependant, il est verbeux, adapté aux API de haut niveau, et transmet plus de données. Pour plus de sécurité, HTTPS est utilisé comme sa version sécurisée. [16]

1.8.2.2 MQTT

MQTT, un protocole de messagerie pour l'IoT et les systèmes M2M, connecte efficacement les périphériques aux applications. Adapté aux ressources limitées et aux connexions peu fiables, il comprend trois composants : abonnés, éditeurs et courtiers. Utilisé dans des domaines comme la santé, la surveillance et la gestion de l'énergie, il assure un transfert efficace de données même dans des environnements à bande passante limitée. [21]

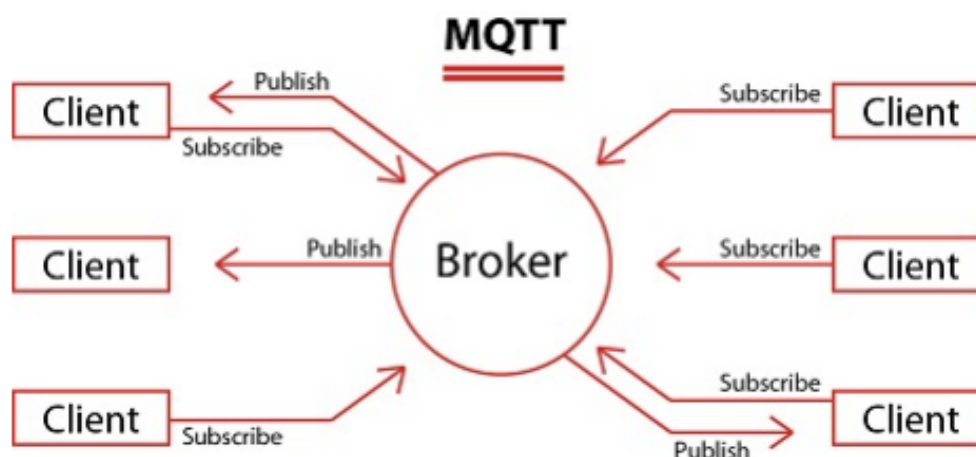


FIG. 1.9 – MQTT

1.8.2.3 CoAP

CoAP (Constrained Application Protocol) : C'est un protocole de couche d'application pour les applications IoT. Il définit un protocole de transfert Web basé sur les fonctionnalités HTTP, est lié à *User Datagram Protocol* (UDP) par défaut qui le rend plus approprié pour les applications IoT. En outre, CoAP modifie certaines fonctionnalités HTTP pour répondre aux exigences de l'IoT telles que la faible consommation d'énergie et le fonctionnement en présence de liens à perte et bruyants . [21]

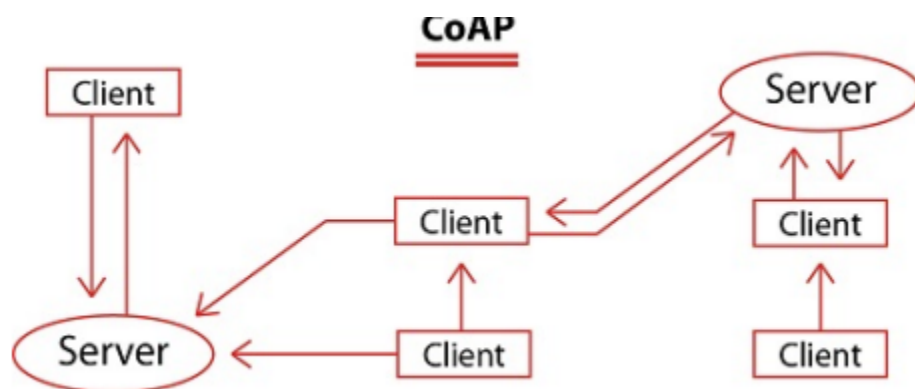


FIG. 1.10 – CoAP

1.9 Domaines d'applications de l'IoT

L'Internet des objets (IoT) est une technologie en pleine expansion, trouvant des applications diverses dans de multiples domaines. Voici quelques exemples de ces domaines d'application courants de l'IoT :

1.9.1 Domaine de santé

Les applications IoT sont cruciales dans le domaine de la santé, où elles surveillent et suivent les patients en utilisant des capteurs médicaux pour mesurer leurs paramètres vitaux. En cas d'anomalie, les capteurs déclenchent des alertes transmises à des centres médicaux distants pour une évaluation rapide et une intervention appropriée, ce qui peut sauver des vies et réduire les coûts hospitaliers. [29]



FIG. 1.11 – domaine de santé

1.9.2 La domotique

La domotique est un ensemble de technologies qui rendent la maison intelligente, capable de fonctionner de manière autonome et de contrôler divers équipements depuis une interface commune (téléphone, panneau). Grâce à l'Internet des Objets, qui facilite la communication entre les appareils électroménagers et permet de les contrôler à distance, la domotique se développe. Cette évolution s'étend également aux villes.[31]

On peut citer quelques exemples de domotique comme HomeKit, Google Home, Nest ou encore Lockitron.

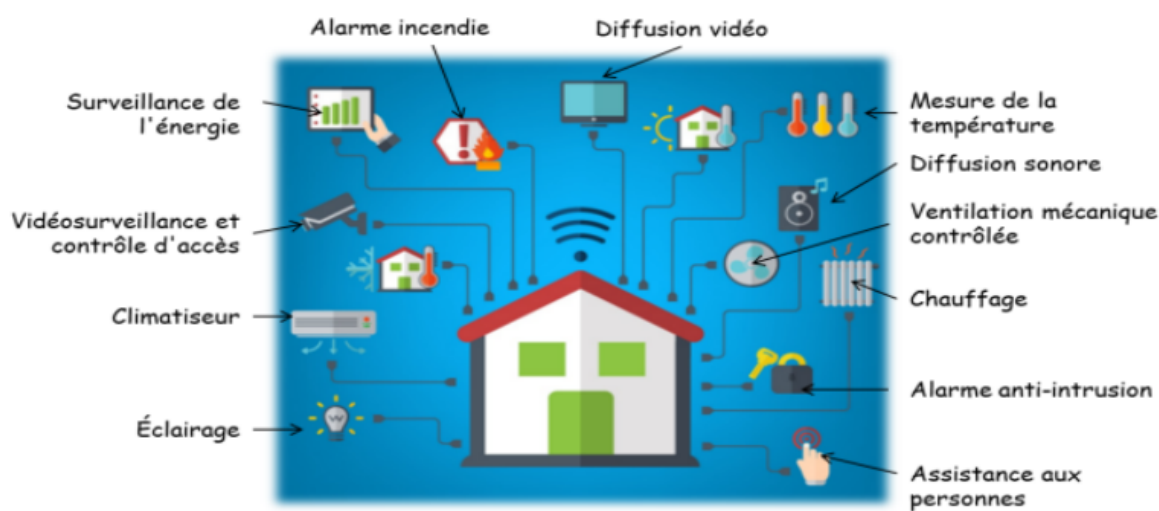


FIG. 1.12 – domotique

1.9.3 ville intelligente

L'IoT révolutionne la gestion urbaine en permettant un contrôle continu et en temps réel des réseaux urbains. Cela se traduit par une utilisation plus efficace des ressources et une meilleure gestion des services urbains. Des applications telles que la réduction des pertes de ressources, l'amélioration du stationnement et de la circulation, gestion d'éclairage et la surveillance des infrastructures contribuent à une ville plus intelligente et plus durable. Streetline est un exemple concret de cette gestion intelligente, en particulier dans le domaine du stationnement urbain. [30]. Streetline est un exemple de gestion de stationnement pour une ville intelligente.

1.9.5 la sécurité et la surveillance

L'IoT offre des solutions de sécurité et de surveillance avancées, telles que les caméras de sécurité connectées et les systèmes d'alarme intelligents, pour une surveillance en temps réel et une gestion des risques améliorée. Ces technologies sont déployées dans les villes intelligentes pour surveiller les infrastructures critiques. Des mesures de sécurité strictes sont nécessaires pour protéger les données et garantir la confidentialité.



FIG. 1.15 – securite et surveillance

1.9.6 domaine de transport

Le transport urbain évolue rapidement grâce à l'intégration de capteurs, d'étiquettes RFID et de puissance de traitement. Ces technologies permettent d'optimiser l'utilisation des infrastructures, d'améliorer la qualité de vie en réduisant les embouteillages et les émissions, et de fournir aux utilisateurs des informations en temps réel pour des trajets plus efficaces. L'utilisation généralisée des étiquettes NFC facilite également l'accès aux services de transport et aux informations touristiques, offrant aux utilisateurs des économies de temps et d'argent significatives. [25] HiKoB est un exemple de transport et logistique intelligent où il offre en temps réel des informations sur les conditions de circulation.



FIG. 1.16 – domaine transport

1.10 L'internet des objets pour la surveillance de l'environnement

1.10.1 Nécessité de surveiller l'environnement

La surveillance de l'environnement avec l'Internet des Objets (IoT) est nécessaire pour plusieurs raisons :

- Observation en temps réel : L'IoT permet une surveillance continue et précise des conditions environnementales, offrant une compréhension approfondie des changements.
- Détection précoce des menaces : En surveillant activement, l'IoT peut repérer rapidement des menaces comme la pollution de l'air ou les fuites chimiques, permettant une intervention rapide.
- Optimisation des ressources : Grâce à des données précises, l'IoT favorise une gestion efficace des ressources limitées.
- Planification et décision éclairée : Les données IoT soutiennent la planification environnementale à long terme et les décisions stratégiques.
- Sensibilisation du public : En rendant les données accessibles, l'IoT sensibilise le public aux enjeux environnementaux, favorisant ainsi une participation active à la protection de l'environnement. En somme, la surveillance environnementale par l'IoT assure une gestion proactive et efficace de notre planète, garantissant sa durabilité et sa santé.

1.10.2 Méthodes traditionnels vs IoT pour la surveillance de l'environnement

Les méthodes traditionnelles de surveillance de l'environnement impliquent souvent des processus manuels et des interventions planifiées. Cependant, ces méthodes peuvent présenter des limitations, notamment en termes de détection tardive des changements environnementaux et de fiabilité variable. En revanche, l'IoT (Internet des Objets) offre une alternative moderne, permettant une surveillance continue et une détection immédiate des variations environnementales. Grâce à des capteurs connectés, l'IoT améliore la fiabilité des données collectées et facilite l'accessibilité à ces informations. Ainsi, l'IoT représente une avancée significative dans la surveillance de l'environnement, offrant des avantages considérables par rapport aux méthodes traditionnelles.

1.10.3 Domaines d'applications de l'IoT pour la surveillance de l'environnement

1.10.3.1 Incendies

Les méthodes traditionnelles de surveillance des incendies, telles que l'utilisation d'images satellitaires, de caméras au sol et de drones, se sont révélées insuffisantes face à la propagation rapide des feux de forêt, en raison de leur ampleur sans précédent. Cela a conduit à l'émergence d'innovations technologiques, notamment l'utilisation de capteurs IoT, fournissant des données en temps réel et des analyses prédictives pour améliorer les stratégies de détection et de réponse précoce aux incendies. Insihrobotics est un exemple d'environnement intelligent. Il détecte les incendies de forêt grâce à des caméras et capteurs. [18]

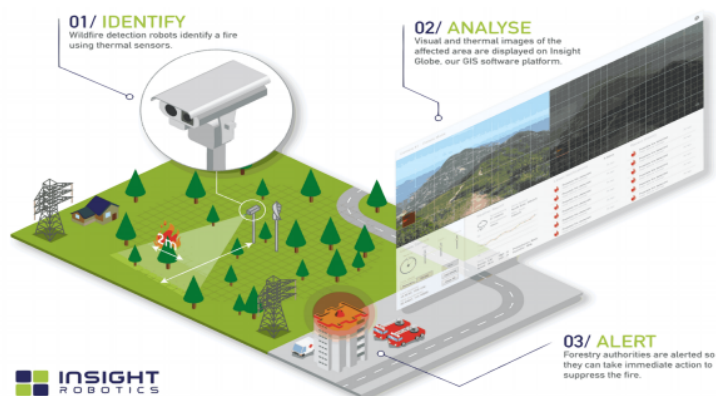


FIG. 1.17 – Insihrobotics

1.10.3.2 Gestion des eaux

La technologie est essentielle pour gérer et conserver l'eau, une ressource vitale pour la planète et ses habitants. Les systèmes de surveillance de la qualité de l'eau basés sur l'IoT permettent de détecter efficacement la contamination et de gérer cette ressource dans divers contextes, comme les bâtiments, les usines de traitement de l'eau et les systèmes d'irrigation. Ils mesurent précisément les contaminants, l'oxygène et le pH, contribuant ainsi à détecter les substances nocives dans l'approvisionnement en eau publique. Ces systèmes sont utilisés dans le traitement des eaux municipales, la surveillance des eaux pluviales et souterraines, le contrôle de l'irrigation agricole et la qualité de l'eau potable, pour préserver la santé et le bien-être des populations. [18]



FIG. 1.18 – Gestion des eaux

1.10.3.3 Qualité d'air

Les émissions de composés organiques dans l'air par les processus industriels et les activités humaines ont un impact sur la qualité de l'air et l'environnement. La surveillance de la qualité de l'air est cruciale pour permettre aux scientifiques et aux industries de prendre des mesures d'atténuation. Cela aide les municipalités à planifier l'urbanisme, les industries à réduire leurs émissions et les constructeurs automobiles à améliorer leurs modèles. L'utilisation de l'IoT pour gérer la circulation urbaine peut également aider à réduire les émissions de véhicules et à promouvoir un air plus pur. Voici quelques exemples concrets de surveillance de la qualité de l'air :

- Surveillance du monoxyde de carbone dans les habitations et les bâtiments
- Surveillance du méthane dans l'agriculture et la gestion des déchets
- Surveillance de la qualité de l'air ambiant pour les polluants, le plomb et les particules toxiques. [18]



FIG. 1.19 – station surveillance de la qualité d'air

1.10.3.4 Energies renouvelables

L'IoT joue un rôle essentiel dans le domaine des énergies renouvelables en permettant une surveillance en temps réel, une optimisation de la production et une gestion intelligente de l'énergie. L'intégration de l'Internet des objets (IoT) dans la surveillance des panneaux solaires par exemple révolutionne la production d'énergie solaire. En permettant un échange de données en temps réel et une gestion à distance, cette technologie garantit un fonctionnement optimal des panneaux, améliorant ainsi l'efficacité de la production d'énergie solaire.[32]



FIG. 1.20 – panneaux solaires

1.10.3.5 Séismes

L'intégration de l'IoT dans la détection des séismes révolutionne la prévention des catastrophes naturelles. Grâce à des capteurs sensibles répartis sur de vastes zones, l'IoT permet une surveillance continue de l'activité sismique en temps réel. Ces capteurs transmettent rapidement les données aux autorités, ce qui leur permet de prendre des mesures préventives et d'alerter la population avant l'impact d'un séisme. De plus, les données collectées alimentent les modèles de prévision sismique, renforçant notre capacité à anticiper et à atténuer les risques sismiques. En résumé, l'IoT améliore la détection des séismes, contribuant ainsi à sauver des vies et à protéger les biens lors d'événements sismiques.

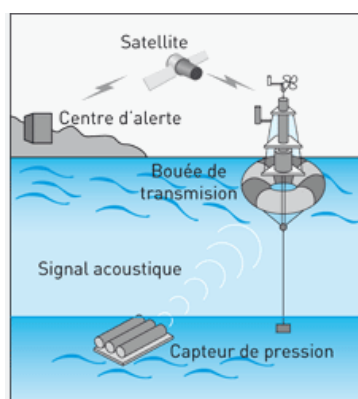


FIG. 1.21 – séisme

1.10.3.6 Conservation de la faune

L'IoT joue un rôle crucial dans la protection des espèces menacées. Grâce à des réseaux de communication étendus couvrant les zones sauvages, les capteurs peuvent surveiller les animaux en temps réel. Des entreprises telles que Smart Parks utilisent des solutions technologiques pour protéger la faune, en se concentrant sur les espèces clés. En Tanzanie, par exemple, des capteurs LoRa ont été placés dans la corne d'un rhinocéros noir pour suivre ces déplacements.



FIG. 1.22 – faunes

1.10.3.7 Gestion de déchets

Dans le contexte de la gestion des déchets, les dispositifs IoT permettent de surveiller en temps réel les conteneurs de déchets, ce qui contribue à optimiser les itinéraires de collecte et à améliorer l'efficacité opérationnelle.

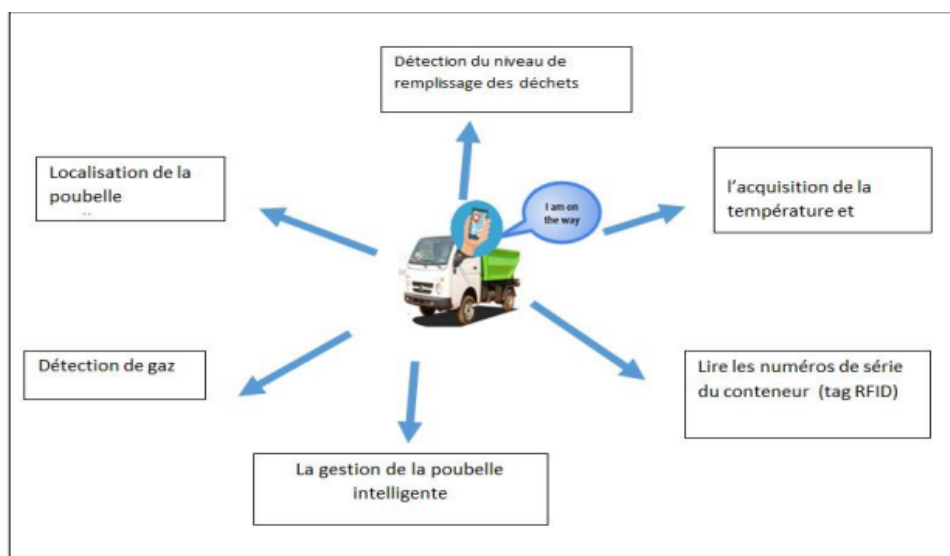


FIG. 1.23 – fonction poubelle intelligent

- Poubelle Intelligente :

Les poubelles intelligentes équipées de capteurs envoient des alertes quand elles sont pleines et pleines d'autres fonctions, améliorant ainsi la collecte des déchets urbains et réduisant les débordements. Les systèmes IoT permettent également de suivre et de récupérer efficacement les appareils électroniques jetés, réduisant ainsi la quantité de déchets envoyés aux décharges. De plus, l'IoT aide les usines à mettre en place des processus de tri et de recyclage plus efficaces, favorisant ainsi la durabilité environnementale.



FIG. 1.24 – poubelle intelligente

1.11 défis et enjeux

La surveillance des incendies nécessite des capteurs fiables dans des environnements extrêmes, une connectivité stable dans les zones touchées et une gestion optimale de l'énergie. Pour la qualité de l'eau, il faut des capteurs fiables dans des environnements changeants, une connectivité dans les zones reculées ou polluées, et une sécurisation des données. Pour la qualité de l'air, les défis incluent la robustesse des capteurs, la connectivité en temps réel et l'agrégation des données. La surveillance des énergies renouvelables doit surmonter l'exactitude des capteurs, une connectivité stable et des coûts de déploiement efficaces. La surveillance des déchets nécessite des capteurs fiables, une connectivité en temps réel et une optimisation des itinéraires de collecte. Pour les séismes, il faut des capteurs sensibles, une connectivité stable et une analyse rapide. Enfin, pour la surveillance de la faune, il faut des capteurs précis, une connectivité dans les régions éloignées et une intégration des données pour comprendre les comportements.

1.12 Conclusion

En conclusion, ce premier chapitre nous a permis d'explorer les fondamentaux de l'Internet des Objets (IoT) et son potentiel dans la surveillance de l'environnement. Nous avons défini l'IoT et examiné ses composantes essentielles, ses caractéristiques ainsi que son architecture en couches. Nous avons également passé en revue les différentes technologies et protocoles de communication associés à l'IoT, ainsi que ses divers domaines d'application, en mettant particulièrement l'accent sur la surveillance de l'environnement.

Cependant, malgré les avancées significatives dans ce domaine, des défis persistent, notamment en ce qui concerne la gestion des déchets. C'est pourquoi, dans le chapitre suivant, nous nous concentrerons spécifiquement sur ce domaine crucial. Nous explorerons d'abord les méthodes traditionnelles de gestion des déchets, mettant en lumière leurs limites et leurs lacunes. Ensuite, nous introduirons les concepts et les possibilités offerts par l'IoT dans ce contexte, ouvrant ainsi la voie à une approche innovante et plus efficace de gestion des déchets.

À travers cette transition, nous aspirons à démontrer comment l'intégration de l'IoT peut transformer fondamentalement la façon dont nous abordons la gestion des déchets, offrant des solutions plus intelligentes, plus durables et plus adaptées aux besoins spécifiques de notre environnement et de notre société.

Chapitre 2

Gestion de déchets : cas d'étude BMT Béjaia

2.1 Introduction

Les déchets représentent un défi majeur pour notre environnement ; Leur présence et leur diversité témoignent des multiples facettes de nos modes de vie modernes. Dans cette ère de conscience environnementale accrue, comprendre la nature, l'origine et la gestion des déchets revêt une importance cruciale pour la préservation de notre planète et de ses écosystèmes. D'abord, nous plongeons au cœur de l'univers des déchets, explorant leur diversité et leur origine. Nous examinons les différentes catégories de déchets en identifiant leurs sources et leurs caractéristiques propres. Cette exploration nous permet de saisir la complexité du défi que représentent les déchets dans notre société contemporaine.

Ensuite, nous nous concentrons sur une étude de cas spécifique : l'entreprise portuaire de Bejaia BMT. Au cœur de cette entreprise dynamique, où les flux de marchandises se croisent et s'entremêlent, la gestion des déchets revêt une importance particulière. Nous plongeons dans les coulisses de cette activité portuaire, explorant les différents types de déchets générés et les défis spécifiques rencontrés dans leur gestion. À travers cette étude de cas, nous mettons en lumière les stratégies et les pratiques innovantes mises en œuvre pour relever ce défi environnemental au quotidien.

Enfin, nous examinons de près les limites de la gestion traditionnelle des déchets. Malgré les progrès réalisés, les méthodes conventionnelles de traitement des déchets se révèlent souvent insuffisantes pour faire face à l'ampleur du problème. Nous identifions les lacunes de ces approches et mettons en avant la nécessité d'adopter des stratégies plus durables pour aborder efficacement la question des déchets. Cette conclusion pose les jalons pour une réflexion plus profonde sur la manière dont nous pouvons repenser notre relation aux déchets et œuvrer vers un avenir plus propre et plus durable pour notre planète.

2.2 Généralités sur les déchets

2.2.1 Définition de déchets

Les déchets sont des substances qui sont abandonnés ou jetés parce qu'ils ne sont plus utiles . Cette catégorie inclut les objets cassés, usés, contaminés ou toute autre substance considérée comme indésirable. La qualification d'un objet comme déchet peut varier selon les contextes environnementaux et juridiques .

2.2.2 Type de déchets et ces origines

Les types de déchets varient en fonction de leur source et de leur composition, chaque type de déchet nécessite une gestion appropriée pour réduire son impact sur l'environnement et la santé publique. Voici quelques types courants de déchets et leurs origines :

Type de déchets	Origines
Déchets ménagers	Produits par les activités quotidiennes des ménages : déchets alimentaires, emballages, papier.
Déchets industriels	Générés par les processus de production et les activités des industries : déchets solides, liquides , gazeux .
Déchets agricoles	Produits par les activités agricoles :les résidus de cultures, les déchets d'élevage, les emballages agricoles.
Déchets électroniques et électriques	Produits par le remplacement des équipements électroniques et électriques :les ordinateurs, les téléphones portables.
Déchets médicaux	Produits par les établissements de santé tels que les hôpitaux :les seringues, les aiguilles, les produits pharmaceutiques périmés.
Déchets dangereux	Produits par diverses activités humaines, y compris les industries chimiques, pharmaceutiques, minières :les produits chimiques toxiques, les déchets radioactifs, les piles et accumulateurs usagés.
Déchets plastiques	Produits par la consommation et l'utilisation de produits en plastique dans divers secteurs :l'emballage, l'automobile, l'électronique.

TAB. 2.1 – Type des déchets et ces origines

2.3 Présentation du BMT

BMT (Bejaia Méditerranéen Terminal) - SPA est une coentreprise entre l'Entreprise Portuaire de Bejaia (*Entreprise Portuaire de Bejaia* (EPB)) et Portek International Limited, une entreprise singapourienne spécialisée dans la gestion et l'exploitation de terminaux portuaires à travers le monde. BMT se concentre sur la gestion et l'exploitation du Terminal à conteneurs au port de Bejaïa, visant à assurer un traitement efficace, rapide et sécurisé des opérations liées aux conteneurs en utilisant des technologies avancées et des systèmes informatiques. L'entreprise met l'accent sur l'intégrité, la productivité, l'innovation, la courtoisie et la sécurité, tout en s'engageant à fournir des services de qualité et à répondre aux besoins de ses clients pour une performance optimale et une rentabilité durable.



FIG. 2.1 – BMT

2.3.1 Organigramme de BMT et ses différentes structures : [document interne de l'entreprise]

L'entreprise portuaire de Bejaia (BMT) est organisée en plusieurs directions, chacune avec des responsabilités spécifiques :

- Direction Générale (DG) : Dirige l'entreprise et prend les décisions importantes. Elle supervise l'Audit interne, le département HSE (Santé, Sécurité et Environnement), et l'Informatique.
- Direction des Ressources Humaines (DRH) : Gère le recrutement, la formation, et la fidélisation des employés. Elle inclut les services RH, achats et projets généraux, et gestion du patrimoine.
- Direction des Opérations (DO) : Coordonne la planification des escales, la gestion des parcs à conteneurs et des ressources. Elle s'occupe des opérations de maintenance des navires et des conteneurs, et de la logistique.

- Direction Marketing (DM) : Gère les relations clients et promeut l'image de marque de l'entreprise. Elle comprend les services Marketing et Commercial.
- Direction des Finances et de la Comptabilité (DFC) : Enregistre les opérations financières. Elle est composée des services comptabilité et finances et budget.
- Direction Technique (DT) : Assure la maintenance des équipements. Elle inclut les services engins et portiques.

Lors de notre stage pratique au sein du BMT, nous avons approfondi nos connaissances en consultant le service d'Hygiène et Sécurité pour comprendre les différents types de déchets existants et leurs méthodes de traitement. De plus, nous avons pris des renseignements auprès du service informatique concernant les technologies actuellement en place et les possibilités d'amélioration pour la gestion des déchets. Cette exploration nous a permis de découvrir les outils et systèmes existants ainsi que les innovations potentielles qui pourraient optimiser les processus de suivi, de collecte et de traitement des déchets au sein de l'organisation.

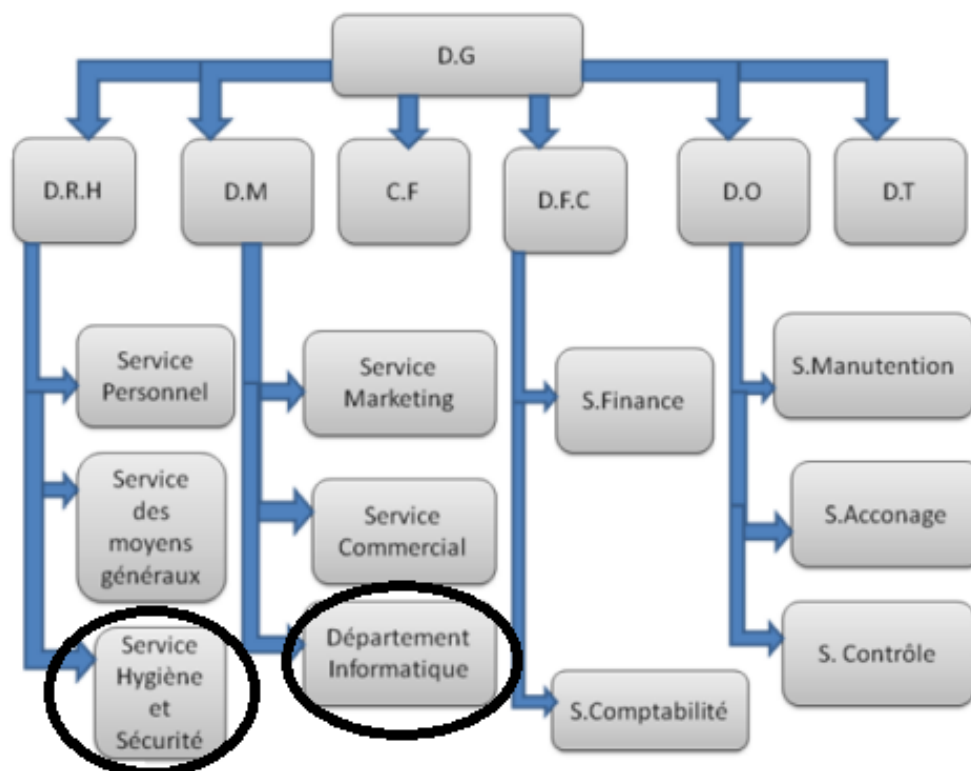


FIG. 2.2 – Organigramme de BMT

2.3.2 Types des déchets au sein du BMT

Avant de passer au tableau détaillant les types de déchets au sein du BMT , il est important de savoir comment ils sont classés. Cette classification nous aide à mieux gérer et à préserver l'environnement . Voici un aperçu des différentes catégories de déchets .

Catégories de déchets	Description	Exemples
Déchets spéciaux	ils proviennent d'activités diverses telles que l'industrie, l'agriculture, les soins de santé, etc. Leur composition spécifique nécessite une gestion différente de celle des déchets ménagers et inertes.	Cartouches, pilles
Déchets spéciaux dangereux	Tous déchets spéciaux qui sont susceptibles de nuire à la santé publique et l'environnement.	Huiles usagées, Graisse usagée.
Les déchets ménagers et assimilés	Tous déchets issus des ménages ainsi que les déchets similaires provenant des activités industrielles ou commerciales qui par leur nature et composition sont assimilables aux déchets ménagers	Papier , Emballage plastique, Caoutchouc.
Les déchets inertes	ils ne subissent aucune altération physique, chimique ou biologique en décharge. Ils proviennent de l'extraction ou de la construction et ne sont pas contaminés par des substances nocives.	Débris de construction, matériaux scéramiques.

TAB. 2.2 – Types de déchets au sein du BMT

2.3.3 Gestion des déchets sein du BMT

Au sein du BMT à Bejaia, la gestion des déchets repose sur l'identification, le tri et le stockage initial des déchets, trois étapes fondamentales pour distinguer les différents types de déchets et les traiter de manière adéquate. Cependant, pour compléter efficacement ce processus, le BMT collabore avec d'autres entreprises spécialisées dans le traitement et le suivi des déchets. Cette collaboration garantit que les déchets triés sont pris en charge de manière professionnelle et conforme aux normes environnementales. En travaillant en partenariat avec ces entreprises spécialisées, le BMT renforce son engagement envers une gestion responsable des déchets.

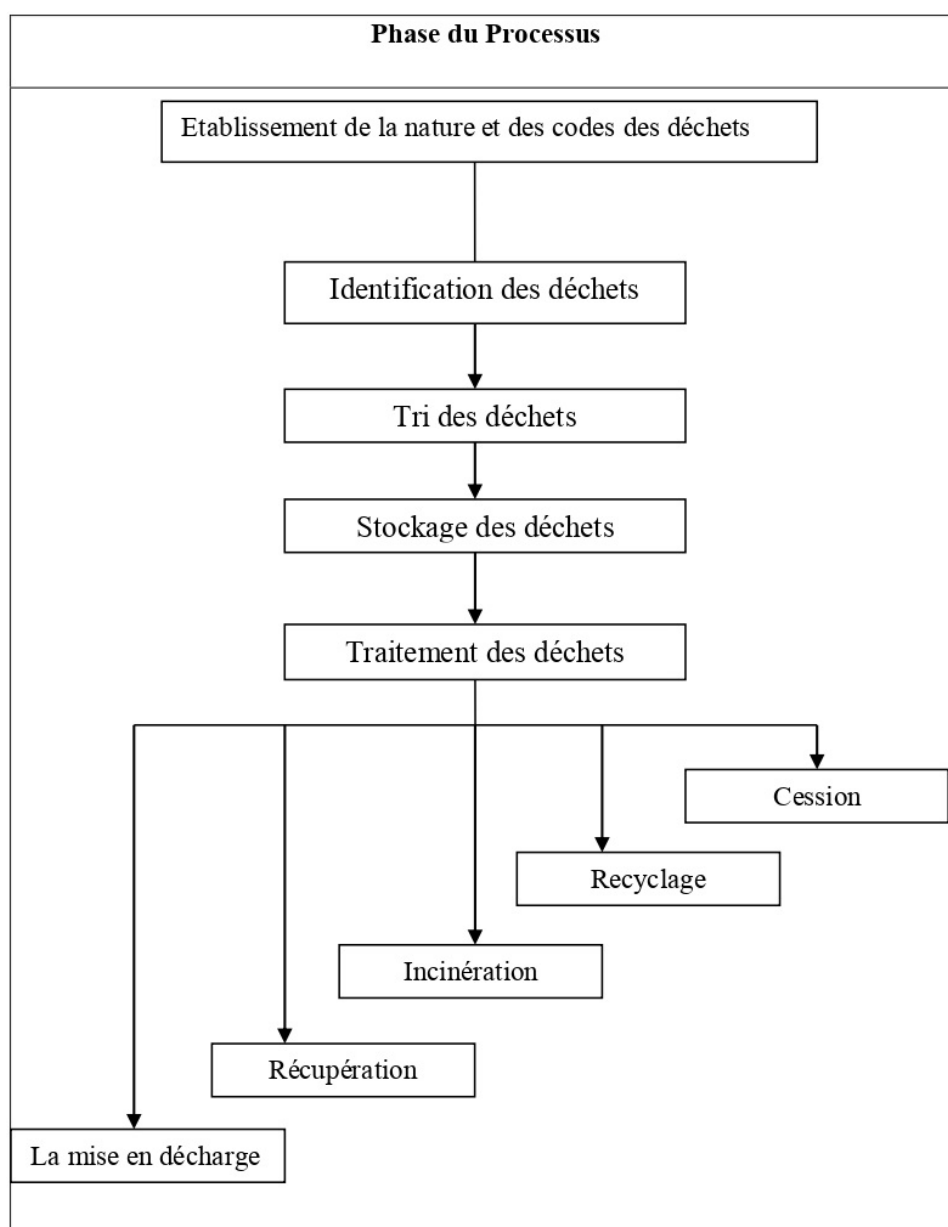


FIG. 2.3 – Organigramme et procédure de gestion déchets au sein du BMT

Dans ce qui suit, nous allons citer le matériel et la procédure suivie :

2.3.3.1 Matériel de gestion déchets au sein du BMT :

L'entreprise portuaire de Béjaia suit une méthode traditionnelle de gestion des déchets en utilisant quelques matériels tel que :

- Bennes à ordures : Des conteneurs spécialement conçus pour collecter et transporter les déchets.
- Camions de collecte des déchets : Des véhicules équipés de bennes.
- Equipements de tri : Des machines et des équipements de tri manuels utilisés pour séparer les différents types de déchets en fonction de leur composition.
- Compacteurs de déchets : Des machines utilisées pour réduire le volume des déchets en les comprimant, ce qui permet d'économiser de l'espace dans les conteneurs et les décharges.

2.3.3.2 procédure de gestion déchets au sein du BMT :

1-Identification des déchets :

L'identification des déchets générés par les activités des processus de l'entreprise BMT se fait par le producteur de déchet en utilisant une méthode traditionnelle telle que l'observation visuelle et la classification manuelle de la manière suivante :

- La désignation du déchet (son intitulé)
- Le code du déchet
- La source d'émission
- La quantité ou volume (en poids, en capacité ou en unité, etc.)

Les données sont enregistrées sur un bordereau de suivi des déchets établi en trois (03) exemplaires par le responsable d'activité ; Il est nécessaire de réunir les déchets en un seul lot unique.

2-Tri des déchets :

C'est l'opération de séparation des déchets selon leur nature en vue de leur traitement. Il est donc très important d'établir des règles claires, avec une signalétique visible et sans ambiguïté afin de guider le personnel dans le processus de tri. Il est tout aussi fondamental de sensibiliser le personnel concerné à l'importance du tri. Le tri des déchets devra s'effectuer régulièrement à la source, par la structure dont l'activité a généré le déchet. Les différents types de déchets sont triés dans des conteneurs séparés en fonction de leur nature (plastique, papier, verre, métal, déchets organiques, etc.).

3-Stockage des déchets :

Les emplacements de stockage sont identifiés, protégés pour chaque type de déchet. Il est prévu un seul emplacement de stockage, et celui-ci est temporaire.

4-Traitement des déchets :

Le traitement constitue la phase relative à la destination finale du déchet que ce soit : la cession, le recyclage, l'incinération, la récupération, la mise en décharge. Durant cette étape, toutes les précautions doivent être prises pour éviter la déperdition ou la dissémination du déchet, que ce soit à l'intérieur du terminal ou pendant le processus de traitement.

5-Suivi des déchets :

Le responsable de traitement devra s'assurer de la prise en charge du déchet et de son traitement jusqu'à la fin. Dans le cas d'une cession externe, on devra s'assurer de la destination finale du déchet et les enregistrements devront être conservés (Bon de livraison facture ou bon de cession).

2.4 Défis de la gestion traditionnelle des déchets sur l'environnement et sur BMT

Parmi les défis connus dans le domaine de la gestion de déchets, et ceux rencontrés par BMT d'après notre stage et nos renseignements auprès d'eux, nous mentionnerons les suivants :

- **Identification et localisation des déchets :** La collecte manuelle des données peut être mise face à des erreurs humaines, compromettant la précision des informations sur les types et quantités de déchets. La variabilité des conditions environnementales et climatiques peut également compliquer la visibilité et l'accessibilité des déchets, posant ainsi des défis supplémentaires à une gestion efficace. Ainsi que le manque de temps (Trop de déchets et de contraintes de temps).
- **tri de déchets :** La diversité des matériaux et le risque de contamination rendent le tri manuel sujet à des erreurs, affectant la qualité des matériaux recyclables récupérés ainsi un travail aléatoire et désorganisé. Une sensibilisation insuffisante du public aux bonnes pratiques de tri contribue également à une séparation inadéquate des déchets à la source. Les infrastructures de tri nécessitent souvent des investissements considérables pour optimiser leur efficacité et leur capacité de traitement.
- **stockage de déchets :** Les méthodes traditionnelles de stockage des déchets exigent des efforts significatifs au quotidien pour assurer une gestion sûre et conforme aux normes réglementaires comme l'élévateur à déchets et aussi la complexité de la collecte et du transport des déchets pour les stocker .

2.5 Conclusion

Dans un monde confronté à une multitude de défis environnementaux, la gestion des déchets occupe une place centrale. Les obstacles que nous avons identifiés dans ce domaine sont indéniables. Ces défis sont particulièrement critiques dans notre pays et surtout dans nos entreprises.

Cependant, face à ces difficultés, nous pouvons voir une lueur d'espoir dans l'horizon de la gestion des déchets. Les solutions émergentes, telles que l'utilisation de l'IoT et de l'*Intelligence Artificielle* (IA), offrent un potentiel révolutionnaire pour une gestion plus intelligente des déchets. En intégrant des capteurs et des dispositifs connectés dans nos infrastructures de gestion des déchets, nous pouvons améliorer l'efficacité de la collecte, optimiser les itinéraires de ramassage, et même détecter les conteneurs pleins avant qu'ils ne débordent.

Cette transition vers une gestion des déchets plus intelligente et connectée représente non seulement une opportunité de résoudre les défis actuels, mais aussi une voie vers un avenir plus durable et résilient. Dans le prochain chapitre, nous explorerons en détail ces solutions innovantes et examinerons comment elles peuvent être mises en œuvre pour transformer radicalement notre approche de la gestion des déchets.

Chapitre 3

Gestion des déchets intelligente

Contribution 1: Objets connectés pour la gestion des déchets

3.1 Introduction

Dans le contexte des technologies traditionnelles de gestion des déchets au sein de BMT, l'idée d'automatiser cette procédure pour la rendre plus intelligente et plus facile s'est imposée comme une nécessité. Ce chapitre se concentre sur l'exploration de diverses solutions innovantes visant à améliorer la gestion des déchets en utilisant l'Internet des Objets (IoT) et l'intelligence artificielle (IA).

Nous examinerons plusieurs options technologiques, en mettant en avant les avantages et les inconvénients de chacune, pour finalement sélectionner la solution la plus adaptée et efficace. Cette approche permettra de transformer les pratiques actuelles, en les rendant plus efficaces, durables et moins contraignantes pour le personnel et l'environnement.

3.2 Les Technologies de la Gestion intelligente des déchets

3.2.1 Poubelles intelligentes

Une poubelle intelligente est un dispositif moderne et innovant conçu pour optimiser la gestion des déchets grâce à l'intégration de technologies avancées. Elle utilise différents capteurs et systèmes intelligents pour surveiller et gérer efficacement les déchets. Parmi ses fonctionnalités, on peut citer la mesure automatique du niveau de remplissage, qui permet de détecter en temps réel quand la poubelle doit être vidée, réduisant ainsi les collectes inutiles et optimisant les itinéraires de ramassage.

De plus, certaines poubelles intelligentes peuvent classifier les déchets, séparant automatiquement les matériaux recyclables des déchets ordinaires. Elles sont également capables de compacter les déchets pour maximiser l'espace disponible à l'intérieur, ce qui réduit la fréquence des vidages nécessaires. En outre, elles envoient des notifications en temps réel aux services de collecte, indiquant précisément quand une intervention est requise. Ces fonctionnalités rendent les poubelles intelligentes non seulement plus efficaces, mais aussi plus durables et écologiques, en contribuant à une gestion des déchets plus rationalisée et respectueuse de l'environnement. [13]



Voici quelques poubelles :

Type	Définition	Photo
Bin-E	elle trie automatiquement les déchets. Equipée de capteurs et d'un système de tri sélectif et sépare automatiquement les déchets recyclables des déchets non recyclables. En utilisant des capteurs et des algorithmes d'intelligence artificielle, elle identifie le type de déchet et le dirige vers le bon compartiment. Les données sur les types et quantités de déchets sont collectées pour une analyse ultérieure.	
Sophie SmartBin	c'est une poubelle intelligente dotée d'un système de compression des déchets. Elle peut compacter automatiquement les déchets, réduisant ainsi le volume de la poubelle et augmentant sa capacité de stockage, ce qui permet de réduire la fréquence des vidanges .	
Léo EcoBin	c'est une poubelle intelligente munie de capteurs de niveau de remplissage et d'un système de surveillance vidéo. Il peut détecter quand il est plein et envoyer des alertes aux services de collecte. De plus, il offre une surveillance en temps réel de son environnement pour prévenir les actes de vandalisme et assurer la sécurité. .	

TAB. 3.1 – Poubelles intelligentes

3.2.2 Les bacs intelligents

Les bacs intelligents sont des conteneurs équipés de capteurs et de technologies avancées. Ils surveillent en temps réel le niveau de remplissage des déchets, offrant ainsi une collecte plus efficace et économique. Ces dispositifs contribuent à une gestion des déchets plus durable en optimisant les opérations de collecte et de traitement. Ils sont de plus en plus utilisés dans les villes et les entreprises pour améliorer l'efficacité du tri et de la collecte des déchets. Voici quelques exemples de technologies et de systèmes de bacs intelligents qui montrent comment les bacs intelligents peuvent transformer la gestion des déchets en réduisant les coûts et en contribuant à un environnement plus propre :

Type	Définition	Photo
Bigbelly	Ce système de bacs intelligents est équipé de capteurs qui mesurent le niveau de remplissage des déchets. Les bacs Bigbelly compressent les déchets, augmentant leur capacité et réduisant la fréquence des collectes. Les données collectées sont envoyées à une plateforme en ligne, permettant une gestion optimisée des tournées de collecte.	
Enovo	Enevo propose des capteurs de niveau de remplissage qui peuvent être installés dans n'importe quel type de bac. Ces capteurs transmettent des données en temps réel à une plateforme centralisée, aidant les gestionnaires de déchets à planifier les collectes de manière plus efficace et à éviter les débordements. .	

TAB. 3.2 – Bacs intelligents

3.2.3 Utilisation de drones

Il existe deux types de drones : les drones volants et les drones maritimes. Chacun joue un rôle unique dans la gestion des déchets, en utilisant des technologies spécifiques pour répondre aux défis environnementaux. Voici une présentation de chacun d'eux :

3.2.3.1 Drones Maritimes

Les drones maritimes, aussi appelés drones aquatiques, sont des dispositifs automatisés conçus pour la collecte de déchets flottants dans les eaux portuaires. Équipés de capteurs (caméras, GPS) et de bras mécaniques, ces drones détectent et capturent les déchets à la surface de l'eau. Ils naviguent de manière autonome ou contrôlée à distance, stockent les déchets collectés dans des compartiments internes, et retournent ensuite à des points de déchargement pour vider leur contenu.



FIG. 3.1 – Drone maritime

3.2.3.2 Drones volants

Les drones volants sont de précieux outils pour la gestion des déchets, offrant diverses applications telles que la surveillance des décharges, l'identification et la localisation des déchets, la surveillance de la pollution, la détection des déchets marins et l'intervention en cas d'urgence.

Leur utilisation permet d'améliorer l'efficacité, de réduire les coûts et les risques pour la santé et l'environnement. Cependant, des considérations réglementaires, de vie privée et de sécurité doivent être prises en compte lors de leur déploiement. En résumé, les drones volants sont des alliés précieux dans la gestion des déchets, offrant des solutions innovantes pour relever les défis environnementaux contemporains.



FIG. 3.2 – Drone Volant

3.2.4 Robots de Tri Automatisé

Les robots de tri automatisé utilisent l'intelligence artificielle et la vision par ordinateur pour identifier et séparer les différents types de déchets, augmentant ainsi l'efficacité et la précision du processus de tri. Équipés de bras robotiques et de capteurs avancés, ces systèmes peuvent rapidement trier les matériaux recyclables comme le plastique, le métal et le papier, réduisant la contamination et augmentant les taux de recyclage. Ils automatisent les tâches manuelles, diminuant les coûts de main-d'œuvre et améliorant la qualité des matériaux recyclés. Ces technologies innovantes facilitent grandement la gestion des déchets, complétant efficacement les poubelles intelligentes équipées de capteurs et les drones.




AMP Robotics : Des robots de tri utilisant la vision par ordinateur pour identifier et trier différents types de matériaux recyclables dans les centres de recyclage.



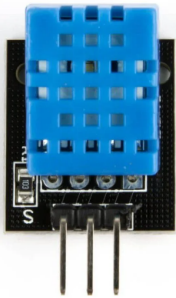

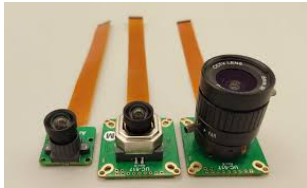
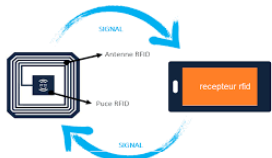
FIG. 3.3 – AMP robotic

3.3 Capteurs utilisés pour ces solutions

Dans le tableau suivant nous allons présenter les différents capteurs utilisés dans les poubelles intelligentes, bacs intelligents et drones.

Capteurs	Définition	Photo
Capteur de GPS(u-blox NEO-M8N)	C'est un module GPS de haute précision qui sont important dans la localisation et le suivi .En intégrant le NEO-M8N à des drones, ils peuvent naviguer avec précision dans les zones ciblées, ce qui permet une collecte plus efficace des déchets et une surveillance précise des zones à problèmes.	
Capteur de gaz(MQ-4)	Le capteur de gaz MQ-4 est essentiel dans la gestion des déchets pour détecter le méthane, un gaz inflammable potentiellement dangereux émis lors de la décomposition des déchets organiques. Il surveille les sites de traitement pour prévenir les fuites de gaz et minimise ainsi les risques pour la santé publique et l'environnement.	
Capteur Tri (WMS capteur à ultrasons (WMS-35/RT)	Il utilise des ondes sonores pour mesurer la distance jusqu'aux déchets, indiquant ainsi le niveau de remplissage de la poubelle.	

TAB. 3.3 – Capteurs

Capteurs	Définition	Photo
<p>Capteur d'humidité (DHT11)</p>	<p>surveille le niveau d'humidité à l'intérieur de la poubelle . Cela peut être utile pour détecter les fuites de liquides ou les déchets humides, ce qui peut affecter la qualité et l'odeur des déchets stockés.</p>	
<p>Capteur de détection la distance ultrason(HC-SR04)</p>	<p>utilise des ondes sonores à haute fréquence pour mesurer la distance jusqu'à un objet.Il surveille le niveau de remplissage, aidant à déterminer quand vider la poubelle.le HC-SR04 est couramment utilisé dans des applications IoT, y compris les poubelles intelligentes.</p>	
<p>Capteur d'image Haute Résolution (Sony IMX477(</p>	<p>C'est une caméra haute résolution, connue pour sa qualité d'image exceptionnelle. Elle est utilisée pour la détection visuelle précise des déchets flottants grâce à sa capacité à capturer des images nettes et détaillées, même dans des conditions de faible luminosité ou de contraste. elle permet aux opérateurs de repérer efficacement les déchets, facilitant ainsi leur collecte et leur élimination.</p>	
<p>Capteur RFID (Radio Frequency Identification</p>	<p>Utilise des étiquettes RFID attachées aux différents types de déchets pour les identifier. Les lecteurs RFID installés dans les zones de collecte peuvent lire ces étiquettes et identifier automatiquement les déchets.</p>	

TAB. 3.4 – Capteurs suite

3.4 Choix des solutions intelligentes

Avant de choisir la solution la plus adaptée, il faut effectuer plusieurs recherches afin d'obtenir la meilleure solution. Dans ce qui suit, nous allons citer les facteurs essentiels à prendre en considération et nous allons effectuer une petite étude comparative entre les solutions existantes.

3.4.1 Facteurs pour choisir la solution approprié

Lors du choix de la solution idéale pour la gestion des déchets dans un port, plusieurs facteurs clés doivent être pris en compte : Bien sûr ! Voici les facteurs clés à prendre en compte lors du choix de la solution idéale pour la gestion des déchets dans un port :

- Coûts initiaux et opérationnels : Évaluer les coûts d'installation, d'entretien et d'utilisation de chaque option.
- Efficacité : Mesurer la capacité de chaque solution à identifier, localiser et gérer les déchets de manière rapide et efficace.
- Durabilité : Vérifier la robustesse des équipements et leur capacité à résister aux conditions environnementales du port.
- Compatibilité : Assurer que la solution est compatible avec l'infrastructure existante du port et évaluer son impact environnemental.
- Facilité d'utilisation : Considérer la convivialité de la solution pour le personnel portuaire.
- Évolutivité : Évaluer la capacité de la solution à s'adapter aux futurs besoins croissants du port.

En prenant en compte ces facteurs, il sera possible de choisir la solution la plus adaptée pour répondre aux besoins spécifiques de gestion des déchets du port de Béjaïa.

3.4.2 Etude comparative entre les différentes solutions

Après avoir mené des recherches approfondies et des études comparatives de ces solutions intelligentes par rapport aux facteurs précédents, ainsi que consulté les responsables de la procédure de gestion des déchets au sein du port, nous avons tiré les conclusions suivantes :

Solutions Facteurs	Drones	Poubelles intelligentes	Robots de tri	Bacs intelligents
Coût initial et coûts opérationnels	Modéré	Modéré	Élevé	Élevé
Efficacité	Moyenne	Élevée	Moyenne	Élevée
Durabilité	Robuste	Robuste	Robuste	Robuste
Compatibilité	Identification seulement	Oui pour les trois étapes	Pour le tri seulement	Oui pour les trois étapes
Impact environnemental	Modéré	Élevée	Modéré	Élevé
Facilité d'utilisation	Modérée	Facile	Modéré	Facile
Évolutivité	Oui	Oui	Oui	Oui

TAB. 3.5 – Comparaison des solutions selon les différents facteurs

3.4.3 Choix de la solution la plus approprié pour l'entreprise BMT

Après avoir pris les facteurs en considération et effectué des études comparatives entre les différentes solutions possibles, nous avons conclu que ces solutions sont les plus adaptées pour chaque étape de la procédure de gestion des déchets.

Procédure	Solution	Justification
Identification des déchets	Drones	Offrent une efficacité maximale pour l'identification et la localisation précise des déchets, répondant ainsi aux besoins de cette procédure.
Tri des déchets	Robot de tri intelligents	Ils sont choisies pour leurs efficacité dans le tri des déchets . Ils réduisent la contamination des déchets en les triant efficacement.
Stockage des déchets	Bacs intelligents	Ils sont sélectionnés pour leur capacité de stockage efficace offrant ainsi une solution robuste et évolutive pour la gestion des déchets, tout en étant compatibles avec l'infrastructure existante du port.

TAB. 3.6 – Choix du solution pour BMT

3.4.4 Base de la procédure : Identification des déchets

Après avoir sélectionné les solutions intelligentes appropriées pour chaque étape du processus de gestion des déchets au BMT, nous nous concentrons désormais sur la première étape cruciale : l'identification des déchets.

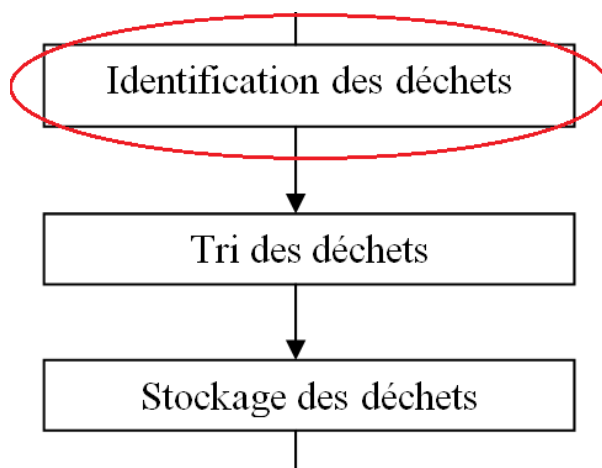


FIG. 3.4 – Procédure de la gestion de déchets

Pour ce faire, nous utilisons des drones équipés de caméras survolant le port pour capturer des images et des vidéos des déchets présents. Ces drones intègrent des technologies avancées telles que la vision par ordinateur et l'apprentissage automatique.

En mettant l'accent sur cette phase initiale, notre objectif est d'établir une base solide pour une gestion durable des déchets au port BMT, en exploitant le potentiel des technologies émergentes. Cette approche proactive et innovante vise à relever efficacement les défis environnementaux actuels.

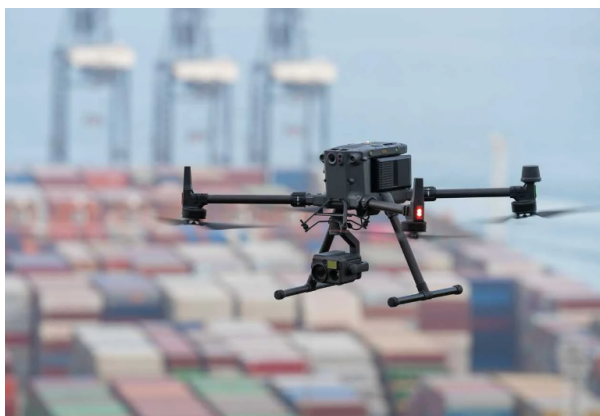


FIG. 3.5 – Drone équipé de caméras

Contribution 2: Automatisation d'une plateforme IoT pour la gestion de déchets basée sur le machine learning

3.5 Machine Learning

Le Machine Learning, introduit en 1959 par Arthur Samuel, est une branche de l'intelligence artificielle qui permet aux ordinateurs d'apprendre sans être explicitement programmés. Cette discipline permet aux machines d'améliorer leurs performances dans l'exécution de tâches spécifiques à partir de l'analyse des données, de l'identification de modèles et de la prise de décisions ou de prédictions autonomes.[5]

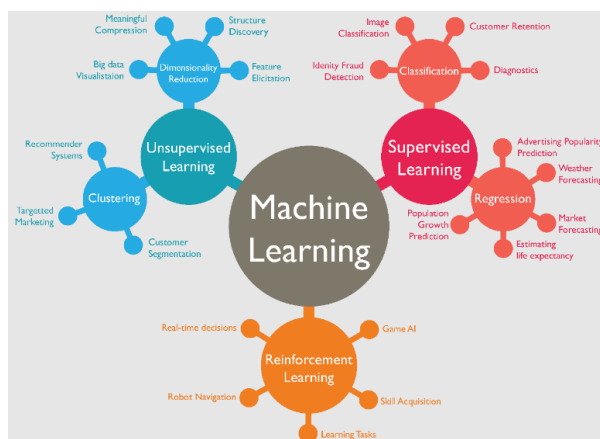


FIG. 3.6 – Methodes d'apprentissage

3.5.1 Les méthodes d'apprentissage du ML

Pour qu'une machine arrive à apprendre, on doit lui fournir cette capacité qui représente un ensemble de méthodes d'apprentissage inspirées de la façon dont nous, les êtres humains, apprenons à faire des choses. Le but de l'apprentissage est d'induire une fonction qui prédise les réponses associées à de nouvelles observations en commettant une erreur de prédiction la plus faible possible. Parmi ces méthodes, on note :[3]

3.5.1.1 Apprentissage non supervisé

- Définition : L'agent apprend à partir de données non étiquetées pour découvrir des structures ou des motifs intrinsèques.

- Exemple : Clustering de clients en groupes basés sur leurs comportements d'achat. L'algorithme trouve des similarités entre les clients sans connaître à l'avance à quel groupe chaque client appartient.

3.5.1.2 Apprentissage par renforcement

- Définition : L'agent apprend à travers des interactions avec un environnement dynamique en maximisant une récompense cumulative

- Exemple : Enseigner à un robot à jouer au tennis de table. L'agent (robot) reçoit une récompense (points gagnés ou perdus) après chaque action (coup de raquette) et ajuste son comportement pour maximiser ses points au fil du temps.

3.5.1.3 Apprentissage supervisé

- Définition : Dans l'apprentissage supervisé, l'agent apprend à partir d'exemples étiquetés où les caractéristiques d'entrée (features) sont associées à des sorties (labels).

- Types de tâches :

- Régression : Lorsque la sortie attendue est une valeur numérique continue. Par exemple, prédire le prix d'une maison en fonction de ses caractéristiques.

- Classification : Lorsque la sortie attendue est une étiquette ou une catégorie prédéfinie. Par exemple, classification des types de déchets où l'algorithme apprend à partir d'un ensemble de données étiquetées pour prédire le type de déchet.

Nous en déduisons que l'apprentissage supervisé, reposant sur les algorithmes de classification, est le plus approprié pour notre problématique.

3.5.2 Algorithmes du problème de classification

En apprentissage supervisé, plusieurs algorithmes sont couramment utilisés pour les problèmes de classification. Parmi eux, on trouve [8] :

- Les k-plus proches voisins (k-NN)
- Les machines à vecteurs de support (SVM)
- Les forêts aléatoires (Random Forest)
- Les réseaux de neurones artificiels (ANN)
- Les réseaux de neurones convolutifs (CNN).

Toutefois, pour des tâches impliquant des données visuelles complexes, comme l'identification de déchets à l'aide de drones, les réseaux de neurones convolutifs (CNN) sont particulièrement adaptés.

3.6 Deep Learning

Lorsque nous parlons de l'utilisation des algorithmes de réseaux de neurones convolutifs (CNN), nous sommes en réalité en train d'entrer dans le domaine du deep learning. Cette sous-catégorie du machine learning utilise des réseaux de neurones artificiels profonds pour modéliser des représentations complexes à partir de grandes quantités de données.

Ces réseaux sont capables d'extraire automatiquement des caractéristiques pertinentes et d'apprendre des représentations hiérarchiques des données.[2]

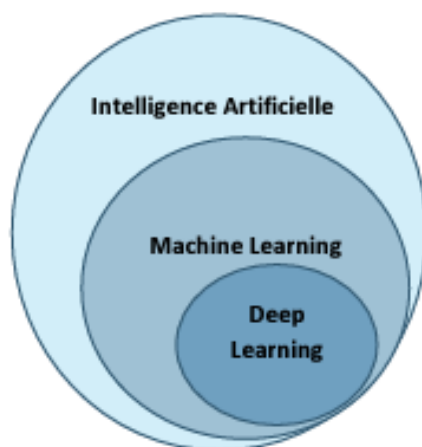


FIG. 3.7 – Deep Learning

3.6.1 Convolutional Neural Network (CNN)

Les réseaux de neurones convolutionnels sont à ce jour les modèles les plus performants pour classer des images. Désignés par l'acronyme CNN, de l'anglais Convolutional Neural Network. Ils sont inspirés par des processus biologiques par les travaux Hubel et Wiesel en 1968 sur le cortex visuel des mammifères.

Ces réseaux sont utilisés dans un grand nombre d'applications pour les systèmes de recommandation en traitement du langage naturel et la classification supervisée des images, cette exploitation qui a connu un grand succès grâce à leurs caractéristiques inspirées des systèmes visuels naturels. [17]

3.6.1.1 Fonctionnement de *Convolutional Neural Network* (CNN)

La figure ci-dessous montre les différentes couches d'un CNN suivies d'une explication de leur fonctionnement.

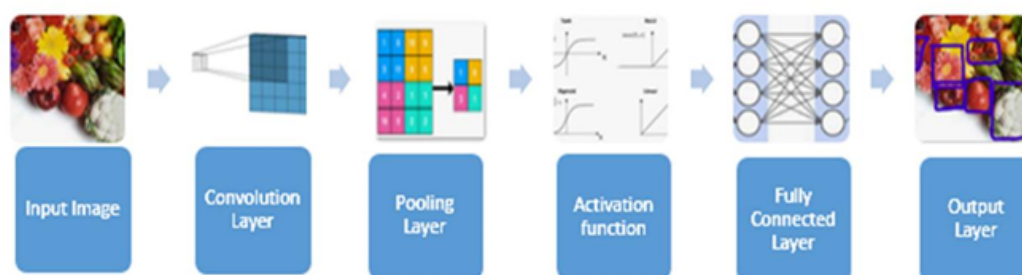


FIG. 3.8 – Les couches de CNN

- Couche de convolution : C'est comme un filtre qui passe sur une image pour la scanner et détecter des motifs comme des bords ou des formes dans différentes parties de l'image.

- Couche de pooling : Une fois que les motifs sont détectés, cette couche réduit la taille de l'image tout en préservant les informations importantes. Cela aide à simplifier le traitement sans perdre les caractéristiques essentielles.

- Couche d'activation : Après la convolution et le pooling, cette couche ajoute de la complexité en activant des parties spécifiques du réseau qui sont importantes pour la détection de caractéristiques plus complexes.

- Couche entièrement connectée : C'est comme une analyse finale qui prend les informations filtrées et les utilise pour faire des prédictions ou des classifications basées sur ce que le réseau a appris des images qu'il a vu.

- Couche de sortie : La dernière étape où le réseau produit une réponse finale, comme "c'est un plastique" ou "c'est un métal", en se basant sur toutes les couches précédentes.

En résumé, un CNN est un modèle qui apprend à comprendre des images en les analysant couche par couche pour identifier ce qu'elles montrent. Chaque couche joue un rôle spécifique dans ce processus d'apprentissage profond.[20]

3.6.2 YOLO

You Only Look Once (YOLO) (You Only Look Once) : c'est un algorithme de détection d'objets en temps réel qui divise une image en une grille et prédit les boîtes englobantes et les probabilités d'objets pour chaque cellule de la grille simultanément. Cela permet une détection rapide et précise des objets dans les images.[24]

3.6.2.1 Fonctionnement de YOLO

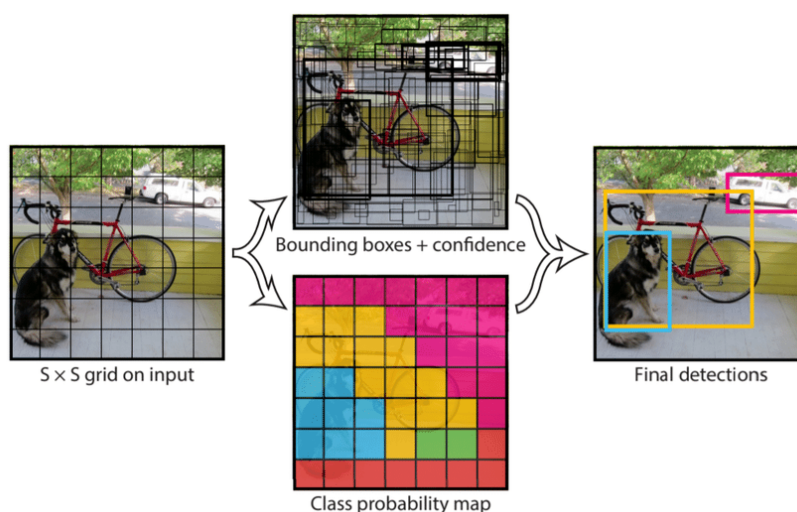


FIG. 3.9 – Fonctionnement de YOLO

- Analyse de l'Image
 - YOLO prend une image de déchets en entrée.
 - Elle divise l'image en une grille (comme un échiquier).

- Prédiction pour Chaque Cellule
 - Chaque case de la grille essaie de deviner s'il y a un déchet dedans.
 - Elle prédit des boîtes pour localiser les objets (appelées boîtes englobantes) et donne un score pour chaque boîte.

- Détection de Classes
 - YOLO devine aussi le type de déchet dans chaque boîte (comme plastique, papier, etc.).
 - Chaque boîte a un score pour montrer à quel point YOLO est sûr qu'il y a un objet et quel type d'objet c'est.

- Affinage des Prédiction
 - YOLO garde seulement les boîtes avec des scores élevés et élimine les doublons en gardant la boîte avec le score le plus élevé pour chaque déchet.

- Résultats Finales
 - À la fin, YOLO fournit une liste de boîtes avec les types de déchets détectés et leur position dans l'image.

3.7 Présentation des outils de développement

3.7.1 Langage de programmation utilisé(Python)

Python est le langage de programmation open source le plus largement utilisé par les informaticiens pour implémenter des réseaux de neurones convolutifs (CNN) pour l'identification des déchets à l'aide de drones, ainsi que pour la détection d'objets avec YOLO. Python est particulièrement adapté à ces tâches en raison de ses bibliothèques robustes et bien développées pour le machine learning et la vision par ordinateur.

3.7.2 Description du système

Le travail présenté est structuré en deux parties distinctes, comme illustré dans cette figure :

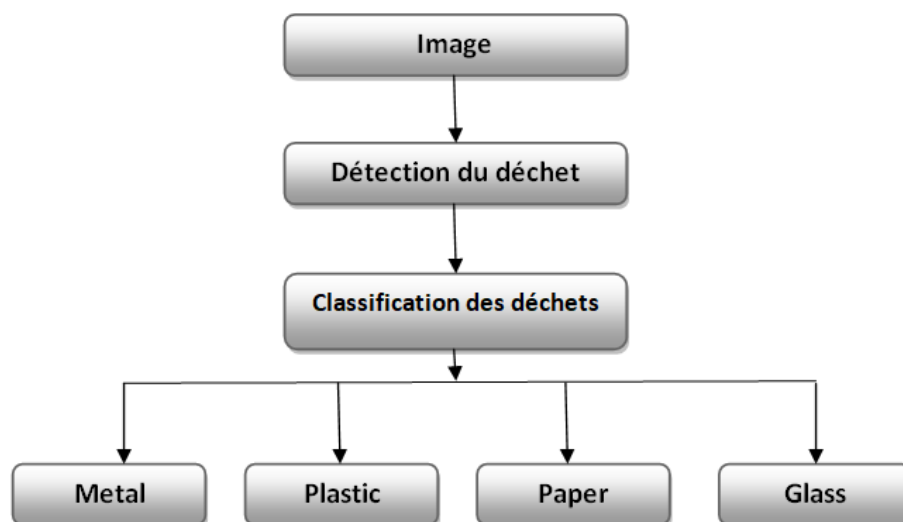


FIG. 3.10 – Description du système utilisé

Tout d’abord, il y a la phase de détection des déchets et d’extraction des caractéristiques, réalisée à l’aide de l’algorithme YOLO.

Cette étape est cruciale car elle localise précisément les déchets dans une image et extrait les informations nécessaires sous une forme abstraite.

Ensuite, la classification des déchets est effectuée à l’aide d’un réseau de neurones convolutionnels (CNN). Cette phase utilise les caractéristiques extraites pour identifier automatiquement le type des déchets détectés parmi quatre catégories : métal, verre, papier et plastique.

L’approche choisie avec YOLO pour la détection et les CNN pour la classification vise à optimiser l’efficacité du système en assurant une détection précise et une classification automatique basée sur des caractéristiques pertinentes extraites des images de déchets.

3.7.2.1 Détection du déchet

Le bloc détection du déchet, comme son nom l’indique a pour principal objectif de détecter un ou plusieurs déchets sur une image. Pour effectuer cette cruciale tâche, de détection de déchets, nous avons utilisé l’approche existante de l’algorithme YOLO .

3.7.2.2 Identification du déchet

La réalisation de notre méthode de classification se fait en deux étapes comme le montre la figure ci-dessous :

On remarque qu’il y’a deux grands processus qui permettent de réaliser notre expérience :

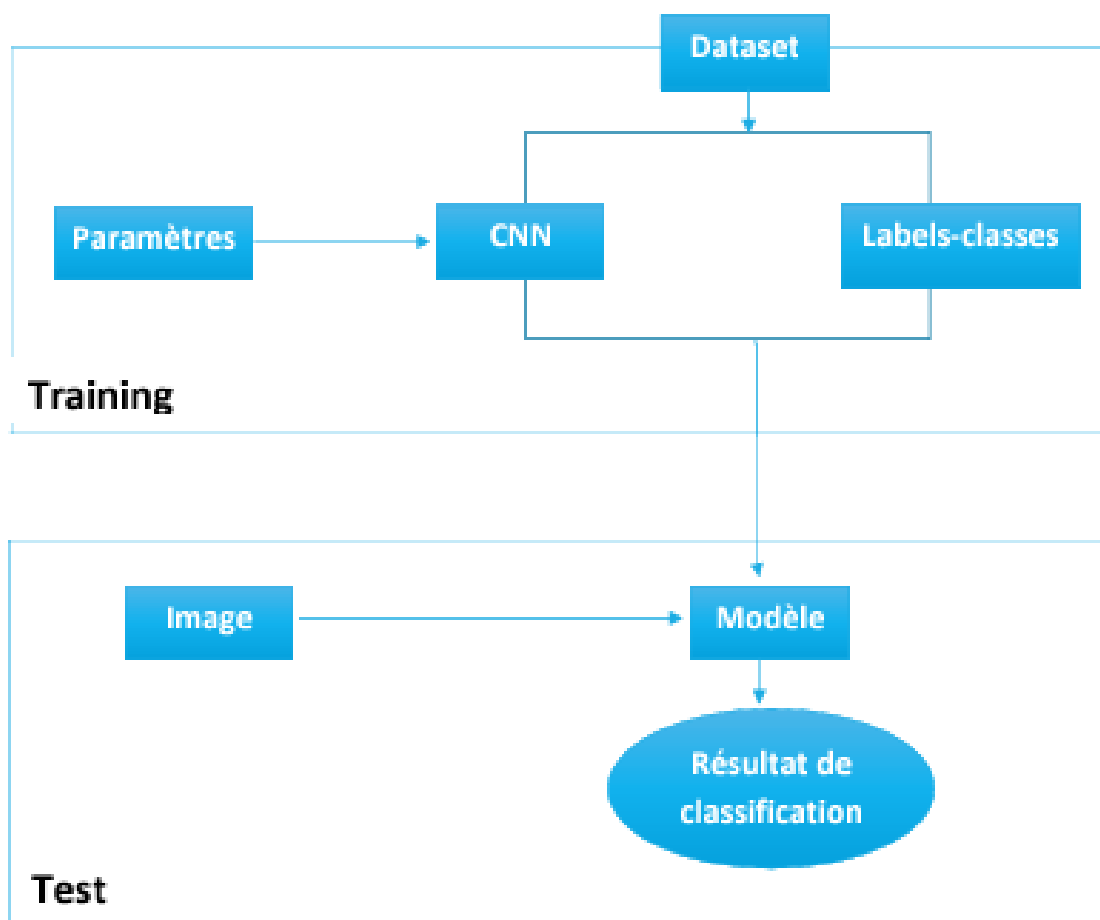


FIG. 3.11 – conception du classifieur

- Training :

c'est le processus le plus important parce qu'on va créer notre modèle grâce à des configurations précises.

- Dataset : c'est une base de données d'images répertoires en classes. Dans notre cas, on prend une Dataset de déchets, on distingue les classes suivantes : métal, glass, plastic et paper .

- Labels-classes : c'est un fichier texte qui portera les noms des classes de notre Dataset.

- Réseau CNN : on va exécuter le Dataset sur notre algorithme CNN pour générer un modèle puis on va utiliser ce modèle pour le Test .

- Test :

Dans le processus Test on retrouve :

- L'image : c'est l'entrée pour les tests. Ce sont plusieurs images ou une seule .

- Le modèle : c'est un fichier généré dans notre training.

- L'affichage de la classification : son nom résume son travail, on va afficher le résultat sorti du modèle qui est le nom d'une classe.

3.8 Conclusion

En conclusion, l'adoption de technologies intelligentes pour la gestion des déchets représente une avancée significative vers une gestion plus efficace et durable des ressources. L'intégration de l'Internet des Objets (IoT) et de l'Intelligence Artificielle (IA) permet non seulement d'optimiser les processus de collecte et de tri des déchets, mais aussi de réduire les coûts opérationnels et l'impact environnemental. Les solutions telles que les poubelles intelligentes et les systèmes de détection et de classification automatiques, basés sur des algorithmes avancés comme YOLO et les réseaux de neurones convolutifs (CNN), démontrent un potentiel révolutionnaire. Ces technologies innovantes ouvrent la voie à une gestion des déchets plus proactive et réactive, capable de répondre aux défis actuels et futurs de manière plus efficiente.

Conclusion générale

La gestion des déchets est un domaine où les défis environnementaux et opérationnels se conjuguent, nécessitant des solutions innovantes et efficaces.

En peu de temps, les technologies de l'Internet des Objets (IoT) et de l'Intelligence Artificielle (IA) ont démontré leur potentiel dans divers secteurs, dont la gestion des déchets, en optimisant les processus et en réduisant l'impact environnemental.

Ce mémoire a exploré les principaux aspects de ces technologies dans ce domaine et présenté leurs concepts fondamentaux, ainsi que leurs implications avec un focus particulier sur le terminal Méditerranéen de Béjaïa (BMT).

Nous avons ensuite détaillé la conception d'un système intégrant ces technologies pour surveiller et optimiser les opérations de gestion des déchets, en mettant en œuvre des modèles prédictifs et des algorithmes d'optimisation.

Notre proposition repose sur une architecture qui permet de collecter et analyser les données en temps réel, améliorant ainsi la prise de décision et la planification des opérations de collecte. Grâce à l'IoT, les conteneurs à déchets sont équipés de capteurs permettant de surveiller les niveaux de remplissage et d'optimiser les itinéraires de collecte.

L'IA traite ces données pour prédire les besoins futurs et recommander des actions spécifiques. Le système développé a montré des résultats prometteurs en termes de réduction des coûts opérationnels et des émissions polluantes, et d'amélioration de l'efficacité de la gestion des déchets. Néanmoins, plusieurs défis persistent, notamment en ce qui concerne l'intégration avec les infrastructures existantes et la gestion des données.

Ce travail nous a permis d'approfondir nos connaissances théoriques et pratiques sur l'IoT et l'IA, et de constater leur potentiel d'application dans des domaines concrets tels que la gestion des déchets. Il ouvre la voie à des solutions plus durables et efficaces, contribuant ainsi à la protection de l'environnement et à l'optimisation des ressources.

Perspectives

En perspective, il est essentiel de continuer à améliorer les algorithmes et d'explorer la compatibilité avec d'autres systèmes intelligents, nous espérons les appliquer ainsi que les technologies étudiées afin d'obtenir des résultats concrets et mesurables en gestion des déchets. L'utilisation de réseaux de neurones convolutifs (CNN) et de l'algorithme YOLO pour la classification et la détection des déchets pourrait transformer les méthodes actuelles. La mise en œuvre de ces technologies permettra d'optimiser les processus de tri et de collecte, tout en réduisant l'impact environnemental et les coûts opérationnels.

Bibliographie

- [1] Djibrilla Incha ADAMOU. “Réseaux de collecte de données pour les zones blanches étendues”. Thèse de doct. Université Paris-Saclay (ComUE), 2019.
- [2] Rémi ADON et al. “Deep Learning : des usages contrastés Une contextualisation de l’ouvrage de Goodfellow, Bengio et Courville”. In : *Statistique et Société* 8.3 (2020), p. 55-108.
- [3] Massih-Reza AMINI. *Apprentissage machine : de la théorie à la pratique*. Editions Eyrolles, 2015.
- [4] Richard Charles ANDREW, Reza MALEKIAN et Dijana Capeska BOGATINOSKA. “IoT solutions for precision agriculture”. In : *2018 41st International Convention on Information and Communication Technology, Electronics and Microelectronics (MIPRO)*. IEEE. 2018, p. 0345-0349.
- [5] Sophie BALECH et C BENAVENT. “Les techniques du NLP pour la recherche en sciences de gestion”. In : (2019).
- [6] Naceur BELHADJ et Abdelhak ABBAD. “La sécurité de l’Internet des Objets (IoT)”. Thèse de doct. Université Ibn Khaldoun Tiaret, 2022.
- [7] Pierre-Jean BENGHOZI, Sylvain BUREAU et Françoise MASSIT-FOLEA. “L’Internet des objets. Quels enjeux pour les Européens ?” In : (2008).
- [8] Christopher M BISHOP et Nasser M NASRABADI. *Reconnaissance de formes et apprentissage automatique*. T. 4. 4. Springer, 2006.
- [9] Alexis BITAILLOU, Benoît PARREIN et Guillaume ANDRIEUX. “Synthèse sur les protocoles de communication pour l’Internet des objets de l’industrie 4.0”. Thèse de doct. LS2N, Université de Nantes ; IETR, Université de Nantes, 2019.
- [10] Muhammad BURHAN et al. “IoT elements, layered architectures and security issues : A comprehensive survey”. In : *sensors* 18.9 (2018), p. 2796.
- [12] Benoît CHRISTOPHE et al. “The web of things vision : Things as a service and interaction patterns”. In : *Bell labs technical journal* 16.1 (2011), p. 55-61.
- [13] Nick W DAHL et al. “Effect of turbulence, dispersion, and stratification on *Escherichia coli* disinfection in a subtropical maturation pond”. In : *Journal of environmental management* 288 (2021), p. 112470.
- [14] N DANIEL, R MARCEL et K DANIEL. *Livre blanc Machine To Machine enjeux et perspectives*. Orange Business Services, Syntec informatique, Fing, 2006.

- [15] Jayavardhana GUBBI et al. “Internet des objets (IoT) : une vision, des éléments architecturaux et des orientations futures”. In : *Systèmes informatiques de la future génération* 29.7 (2013), p. 1645-1660.
- [16] Imane HANAFAI et Samia YAHIA. “Conception d’un système IoT de bout en bout pour le suivi temps réel des processus de production, de géolocalisation et de surveillance.” Thèse de doct. Université Mouloud Mammeri, 2020.
- [17] David H HUBEL et Torsten N WIESEL. “Champs récepteurs et architecture fonctionnelle du cortex strié du singe”. In : *Le Journal de physiologie* 195.1 (1968). Sous la dir. de Bibliothèque en ligne WILEY, p. 215-243.
- [20] Yao LIU, Hongbin PU et Da-Wen SUN. “Extraction efficace de caractéristiques d’images profondes à l’aide d’un réseau neuronal convolutif (CNN) pour des applications de détection et d’analyse de matrices alimentaires complexes”. In : *Tendances en science et technologie alimentaires* 113 (2021). Sous la dir. d’ELSEVIER, p. 193-204.
- [21] Larras MELISSA et Khalfouni DJAMILA. “Défis de sécurité de l’Internet des Objets Problèmes et solutions.” Thèse de doct. Université Mouloud Mammeri, 2019.
- [22] Keyur K PATEL, Sunil M PATEL et P SCHOLAR. “Internet of things-IOT : definition, characteristics, architecture, enabling technologies, application & future challenges”. In : *International journal of engineering science and computing* 6.5 (2016).
- [24] Joseph REDMON et Ali FARHADI. “YOLO9000: better, faster, stronger”. In : *Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition*. 2017, p. 7263-7271.
- [25] PS SAARIKA, K SANDHYA et T SUDHA. “Smart transportation system using IoT”. In : *2017 International Conference On Smart Technologies For Smart Nation (SmartTechCon)*. IEEE. 2017, p. 1104-1107.
- [26] Samya SAGAR. “Gestion intelligente de réseaux de capteurs, intégrés à des vêtements sportifs instrumentés”. Thèse de doct. Ecole nationale supérieure Mines-Télécom Atlantique Bretagne Pays de la Loire, 2019.
- [27] Tara SALMAN et Raj JAIN. “A survey of protocols and standards for internet of things”. In : *arXiv preprint arXiv :1903.11549* (2019).
- [28] Shadi AL-SARAWI et al. “Internet of Things (IoT) communication protocols”. In : *2017 8th International conference on information technology (ICIT)*. IEEE. 2017, p. 685-690.
- [29] Dhananjay SINGH, Gaurav TRIPATHI et Antonio J JARA. “A survey of Internet-of-Things : Future vision, architecture, challenges and services”. In : *2014 IEEE world forum on Internet of Things (WF-IoT)*. IEEE. 2014, p. 287-292.
- [31] Ferhane SOUHAYLA. “l’internet des objets révolutionne notre vie quotidienne : application pour une maison intelligent”. Thèse de doct. Université laarbi tebessi tebessa, 2021.
- [33] Rahim TAFAZOLLI. *Technologies for the Wireless Future, Volume 2: Wireless World Research Forum (WWRFF)*. T. 2. John Wiley & Sons, 2006.

Webographie

- [11] *Capteur /* — Wikipédia. https://fr.wikipedia.org/wiki/Capteur_/.
- [18] *IoT-Surveillance de l'environnement basée sur la technologie : Types et cas d'utilisation | Digi International.* <https://fr.digi.com/blog/post/iot-based-environmental-monitoring>.
- [19] *L'Internet des objets, au cœur des Smart grids | Smart Grids - Le site édité par la CRE.* <https://www.smartgrids-cre.fr/encyclopedie/linternet-des-objets-au-coeur-des-smart-grids>.
- [23] *Qu'est-ce qu'un objet connecté ? - Primàbord.* <https://primabord.eduscol.education.fr/qu-est-ce-qu-un-objet-connecte>.
- [30] *Smart City : les enjeux énergétiques de la ville durable | IFPEN.* <https://www.ifpenergiesnouvelles.fr/article/smart-city-les-enjeux-energetiques-ville-durable>.
- [32] *Surveillance des panneaux solaires alimentée par l'IoT : améliorer l'efficacité et les informations.* <https://www.alotceriot.com/fr/revolutionner-la-surveillance-des-panneaux-solaires-avec-la-technologie-iot/>.