

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Mémoire de fin d'études
Pour l'obtention du diplôme de Master en Informatique

Présenté à l'Université de Echahide Cheikh Larbi Tébessi
Faculté des Sciences Exactes et Sciences de la Nature et de la Vie

Département de : **Mathématiques et Informatique**
Spécialité : **Informatique**
Option : **Réseaux et Sécurité**

Par :
KARDI Iman

Conception et implémentation d'une
architecture réseaux IOT base sur LoRa

Devant le Jury :

Président	MEKHAZANIA Tahar	MCA	Université de Tébessa
Examineur	BOUROUGAA Salima	MCB	Université de Tébessa
Encadreur	MERZOUG Soltane	MCA	Université de Tébessa

Année universitaire : 2022/2023

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

À MES CHERS PARENTS

Surtout MA MERE

Que nulle dédicace ne peut exprimer mes sincères sentiments envers eux, pour leur patience illimitée, leur encouragement continu, leur aide, en témoignage de mon profond amour et respect pour leurs grands sacrifices.

CHERE GRANDMERE

Pour ses encouragements et sa confiance en moi

MON FIANCE, MON PARTENAIRE

Qui sans son encouragement ce travail n'aurait jamais vu le jour.

MES CHERES FRERES

Pour leur grand amour et leur soutien à qui, je présente ici l'expression de ma haute gratitude.

MES ONCLES ET TANTES ainsi que leurs EPOUSES, EPOUX ET ENFANTS

MES CHERS COUSINS ET COUSINES

MES AMIES Sihem et Anfel.

KARDI Iman.

Remerciements

C'est avec un grand plaisir que je réserve ces quelques lignes en signe de gratitude et de profonde reconnaissance à tous ceux qui de près ou de loin, ont contribué à la réalisation et l'aboutissement de ce travail.

*Tout d'abord, je tiens à remercier **Allah** tout puissant, de m'a permis de mener à bien ce mémoire, et de m'a orienté au chemin du savoir.*

*Ensuite, je remercie très chaleureusement Dr. **Marzoug Soltane** qu'il m'a permis de bénéficier de son encadrement, les conseils qu'il m'a prodigués, la patience, la confiance qu'il m'a témoignée ont été déterminant dans la réalisation de mon travail.*

*Mes remerciements aux membres de jury Dr. **Bourougaa Salima** et Dr. **Mekhaznia Tahar** Maitres-assistants au sein du département mathématiques et informatique de la faculté des sciences exactes et sciences de la nature et de la vie à l'université de Tébessa, pour l'honneur qu'il nous a accordé en acceptant de juger mon travail.*

Un profond respect et un remerciement particulier pour Chef de département et tous les enseignants de département Mathématiques et Informatique pour la bonne contribution de ce travail.

Merci à toutes et tous.

Résumé

Avec le développement de la technologie, il est devenu facile de faire face aux problèmes auxquels nous sommes confrontés dans la vie quotidienne, et sans avoir besoin d'une personne également, en particulier avec l'avènement de l'Internet des objets.

Au cours de ce mémoire, on va concevoir une architecture Réseau Basé sur LoRa pour résoudre le problème des incendies et limiter sa propagation rapide, et on profitant des avantages que LoRa apporte pour une solution rapide, garantie et avancée.

On a conçu un scénario pour une détection efficace de la fumée et une transmission de données fiable à l'aide de la technologie **LoRa** longue portée à faible consommation. On a fourni une solution puissante pour surveiller et prévenir les incendies dans divers environnements tels que les bâtiments résidentiels, commerciaux ou industriels.

Ce mémoire se fera en plusieurs langages, l'application nécessite des outils de développement bien adaptés au contexte du scénario qu'on a présenté. on a utilisé **OMNET ++** car il est considéré comme l'un des programmes prenant en charge la représentation des scénarios de **l'Internet des objets** et contient dans ses coordonnées la technologie LoRa.

Mots-clés : LoRa, LoRa WAN, Omnet++, Internet des objets IOT.

Abstract

With the development of technology, it has become easy to deal with the problems we face in daily life, and without the need of a person as well, especially with the advent of the Internet of Things.

During this memoire, we will design a Network Architecture Based on LoRa to solve the problem of fires and limit its rapid spread, and we take advantage of the advantages that LoRa brings for a fast, guaranteed and advanced solution.

A scenario was designed for efficient smoke detection and reliable data transmission using low-power long-range LoRa technology. We have provided a powerful solution to monitor and prevent fires in various environments such as residential, commercial or industrial buildings.

This memoire will be done in several languages, the application requires development tools well adapted to the context of the scenario that we presented. OMNET++ was used because it is considered one of the programs that supports the representation of Internet of Things scenarios and contains LoRa technology in its coordinates.

Keywords: LoRa, LoRa WAN, Omnet++, Internet of Things IOT.

ملخص

مع تطور التكنولوجيا ، أصبح من السهل التعامل مع المشكلات التي نواجهها في الحياة اليومية ، ودون التعرض للعوائق ، خاصة مع ظهور إنترنت الأشياء .

خلال هذه الرسالة ، سنقوم بتصميم بنية الشبكة على أساس LoRa لحل مشكلة الحرائق والحد من انتشارها السريع ، ونستفيد من المزايا التي توفرها LoRa لحل سريع ومضمون ومتقدم.

تم تصميم سيناريو للكشف الفعال عن الدخان ونقل موثوق للبيانات باستخدام تقنية LoRa طويلة المدى منخفضة الطاقة. لقد قدمنا حلاً فعالاً لمراقبة ومنع الحرائق في بيئات مختلفة مثل المباني السكنية أو التجارية أو الصناعية.

يتطلب تنفيذ هذا العمل أدوات تطوير تتكيف جيداً مع سياق السيناريو الذي قدمناه. تم استخدام OMNET ++ لأنه يعتبر أحد البرامج التي تدعم تمثيل سيناريوهات إنترنت الأشياء وتحتوي على تقنية LoRa في إحدائياتها.

كلمات مفتاحية: LoRa ، LoRa WAN ، Omnet++ ، إنترنت الأشياء IOT.

Table des matières

Remerciement	i
Résumé	ii
Tables des matières	v
Liste des figures	ix
Liste des tableaux	xi
Glossaire des acronymes et des notations	xii
Introduction Générale	1
Chapitre 1. Internet des objets et LoRa	4
Introduction	4
1. Internet des objets	4
1.1. Qu'est-ce qu'un objet	4
1.2. L'internet des objets IOT	5
1.3. Domaines d'utilisation	5
1.4. Modèles de référence	5
1.5. Protocoles IOT	6
1.5.1. Les protocoles d'accès	6
1.5.2. Les protocoles applicatifs	9
1.6. Architecture IOT	10
1.6.1. Appareil intelligent	10
1.6.2. Couche de communication réseau	11
1.6.3. Couche support applicatif	11
1.6.4. Couche application	11

2. LoRa	11
2.1.Présentation de LoRa	11
2.1.1. Protocole LoRa	11
2.1.2. Architecture de réseau LoRa	12
2.1.3. Caractéristique de LoRa	12
2.1.4. Evaluation des fonctionnalités LoRa	13
2.2. Protocole LoRa WAN	14
2.2.1. Analyse LoRa WAN	14
2.2.2. Caractéristiques de LoRa WAN	16
2.2.3. Sécurité :éléments du réseau LoRa WAN	17
Conclusion	18
Chapitre 2. Les techniques LoRa dans IOT	19
Introduction	19
1. La technologie LoRa	19
1.1. Les différentes classes de LoRa WAN	19
1.1.1. Classe A	20
1.1.2. Classe B	20
1.1.3. Classe C	20
2. Présentation de LoRa IOT	21
2.1. Application pratique de LoRa IOT	22
2.1.1. Smart city	22
2.1.2. Batiment intelligent	22
2.1.3. Feu intelligent	22
2.1.4. Agriculture intelligent	23
2.2. Avantage de système LoRa IOT	23
2.3. Inconvénient du système LoRa IOT	24
3. LPWAN : le concept fondamental de LoRa WAN IOT	24
3.1. Résumé de la technologie LPWAN	24
3.1.1. EC-GSM	25
3.1.2.EMTC	25
3.1.3. NB-IOT	26
3.2. Comparaison de LoRa IOT et NB IOT	27
3.3. Pourquoi nous avons choisi LORAWAN plutôt que d'autres protocoles IOT populaires	27
4.Travaux connexes	29
5. Table de comparaison	33

6.Synthèse	38
Conclusion	40
Chapitre 3. Présentation de l'architecture globale du système	41
Introduction	41
1. Le problème de la propagation des incendies de forêt et les solutions possibles	42
2. Utilisez LoRa pour des solutions avancées	42
2.1. Architecture du réseau LoRa dans détection de fumée	42
2.2. Comment fonctionne un détecteur de fumée LoRa	43
2.3. Les 4 niveaux d'architecture	44
2.3.1. Niveau des capteurs	45
2.3.2. Niveau de la Gateway ou passerelle	45
2.3.3. Niveau du serveur réseau LoRa	46
2.3.4. Niveau de l'application	47
3. Pourquoi nous avons choisi LoRa dans IOT pour résoudre ce problème ?	48
Conclusion	50
Chapitre 4. Implémentation	51
Introduction	51
1. Environnement de travail	52
1.1. Environnement matériel	52
1.2. Technologies	52
1.2.1. OMNeT++	52
1.2.2. FLoRa	52
2. Contenu de notre scénario de réseau LoRa	53
2.1. Capteurs LoRa	53
2.2. LoRa Gateway	55
2.3. LoRa network server	57
3. Synthèse	60
Conclusion	62
Conclusion générale & Perspectives	63
Références Bibliographiques	65

Liste des figures

Figure 1.1. Modèles de référence d'IOT _____	6
Figure 1.2. Architecture de l'IOT _____	10
Figure 1.3. Architecture de réseau LoRa _____	12
Figure 1.4. Implémentation typique du réseau LoRa WAN _____	14
Figure 2.1. La technologie LoRa WAN _____	21
Figure 3.1. Architecture globale du réseau LoRa dans détection de fumée _____	44
Figure 3.2. Organigramme expliquant le fonctionnement d'un détecteur de fumée IOT basé sur LoRa _____	45
Figure 3.3. Organigramme expliquant le fonctionnement des capteurs de fumée LoRa _____	46
Figure 3.4. Schéma simple montrant les composants d'une passerelle LoRa typique _____	47
Figure 4.1. Chemin de transmission des informations entre les capteurs et Gateway. _____	54
Figure 4.2. Des commandes permettent de configurer les caractéristiques des capteur LoRa dans un réseau. _____	54
Figure 4.3. Chemin de transmission des informations entre Gateway et Router de network Server _____	56
Figure 4.4. Configurer les paramètres de Gateway dans votre réseau LoRa. _____	56
Figure 4.5. Chemin de transmission des informations entre Gateway et network Server. _____	58
Figure 4.6. Configurer les paramètres de serveur dans votre réseau LoRa. _____	59
Figure 4.7. Résultat chemin de transmission des informations. _____	59

Liste des tableaux

Tableau 2.1. Comparaison NB IOT et LoRa IOT	27
Tableau 2.2. Comparaison entre LoRa WAN et d'autres protocoles de technologie IOT	28
Tableau 2.3. Comparaison entre les travaux connexes	34

Glossaire des acronymes et des notations

IOT : L'Internet des objets.

M2M : Machine-to-Machine.

LPWAN: Low-Power Wide Area Network.

PHY: Physical Layer.

RPW: Random Phase Wake-Up.

WSN: Wireless Sensor Network.

NFS: Network File System.

TCP: Transmission Control Protocol.

UDP: User Datagram Protocol.

Introduction Générale

1. Introduction

Pour accélérer le développement de l'IoT, nous avons recherché une technologie dotée de propriétés spéciales, et c'est là que la technologie LoRa a attiré notre attention. Elle présente de nombreux avantages et facilite la diffusion de l'IoT. LoRa est une plateforme sans fil à faible émission de carbone utilisant des fréquences radio sans licence dans les bandes ISM (industrielles, scientifiques et médicales). Elle permet la communication entre les capteurs distants et les passerelles connectées aux serveurs web et aux applications.

L'un des principaux avantages de LoRa réside dans sa portée étendue. Une seule passerelle centrale peut couvrir de vastes zones urbaines, tandis que les capteurs peuvent fonctionner dans un rayon allant de 15 à 30 miles. Dans les zones rurales, LoRa est considéré comme l'un des réseaux à faible puissance (LPWAN) les plus puissants, offrant une connectivité fiable et à longue portée.

Les LPWANs représentent une tendance émergente dans le domaine des communications sans fil, spécialement conçus pour l'IoT. LoRa joue un rôle clé en fournissant une infrastructure solide et efficace pour une large gamme d'applications IoT, allant de l'équipement médical à l'agriculture, en passant par les transports et la lutte contre les incendies.

La technologie LoRa offre une solution avantageuse pour le déploiement de l'IoT, avec sa portée étendue, sa faible consommation d'énergie et sa capacité à connecter de multiples dispositifs sur de longues distances. Elle ouvre de nouvelles opportunités pour l'innovation et la transformation numérique dans divers secteurs.

2. La problématique

Comment surmonter les défis de communication autonomes et fiables dans l'Internet des objets en intégrant la technologie LoRa ?

Comment garantir une transmission sans erreur et éviter les fausses alarmes pour assurer une communication efficace entre les dispositifs IoT ?

Quelles spécifications et dispositifs appropriés sont nécessaires pour créer un environnement propice à une excellente communication dans l'IoT en utilisant la technologie LoRa ?

Objectif du mémoire

L'objectif principal de mémoire est d'étudier et de concevoir un réseau de communication reliant l'Internet des objets et la technologie LoRa.

Dans cette mémoire, j'ai mené une étude approfondie de la technologie LoRa, comment tirer parti de ses avantages et comment la connecter à l'Internet des objets dans divers domaines, et nous avons pris comme exemple comment l'utiliser pour développer et prédire les incendies. Extincteurs rapidement en plaçant des capteurs qui détectent le feu et envoient des données aux pompiers ou aux propriétaires de bâtiments avec des informations sur l'intensité du feu et son emplacement exact.

3. Structure de mémoire

Dans cette mémoire, nous visons à étudier la structure de LORA et son utilisation avec l'Internet des Objets dans divers domaines et à établir une excellente communication entre eux sans avoir besoin de la main humaine pour faciliter la vie quotidienne et étudier les avantages de la technologie LORA et comment introduire ces fonctionnalités et les utiliser avec l'Internet des objets au lieu d'autres technologies et pourquoi nous avons choisi Laura dans ce processus.

Ce mémoire comprend des détails dans les parties suivantes :

Le 1^{er} chapitre " **Internet des objets et LoRa** ", Présente une vue d'ensemble du concept de l'Internet des Objets, de ses différents protocoles et de ses différents domaines d'application, ainsi qu'une vue d'ensemble de LoRa et des détails sur l'architecture du réseau LoRa et ses différentes étapes.

Dans le 2^{ème} chapitre "**Les techniques LORA dans IOT**", Nous avons étudié le travail de la technologie LoRa dans l'Internet des Objets Nous avons également parlé d'exemples d'application dans différents domaines qui relient LoRa à l'Internet des Objets. Enfin, nous avons compilé les travaux préliminaires précédents sur l'approche de développement de LORA dans l'IoT et son application dans divers domaines pour en savoir plus sur son développement et son déploiement.

Le 3^{ème} chapitre "**Présentation de l'architecture globale du système**", Détails de la structure générale du système LORA dans l'Internet des Objets et son application pour trouver une solution avancée au problème de la propagation des incendies.

Dans le 4^{ème} chapitre "**présentation de l'environnement de développement et simulation avec une discussion sur les résultats obtenus**", Et nous présentons les outils de développement qui seront utilisés pour l'implémentation, ainsi que décrivons son fonctionnement "Implémentation".
Notre mémoire se terminera par une conclusion générale.

Chapitre 1

Contexte : Internet des objets et LoRa

Introduction

L'IoT est un domaine en constante évolution au sein des technologies de l'information, caractérisé par des avancées rapides dans les dispositifs, les applications, les services et les outils. Parmi les différentes technologies utilisées pour connecter les réseaux IoT, nous nous intéressons particulièrement à la technologie LoRa. Cette mémoire se concentre sur l'exploration des nombreux avantages avancés offerts par LoRa dans le contexte de l'IoT, afin d'exploiter pleinement son potentiel dans la réalisation de nos objectifs.

1. Internet des objets

1.1-Qu'est-ce qu'un objet ?

Les objets connectés sont des objets physiques équipés des capteurs ou des puces rendre possible la fourniture de nouveaux services au-delà de leur usage d'origine. C'est un capable de communiquer avec un ordinateur, un smartphone ou Tablet PC via un réseau sans fil (Wi-Fi, Bluetooth, Wi-Fi longue distance, comme Sigfox ou LoRa, etc.) connectez-le à internet ou au réseau local.

Il existe généralement deux catégories d'objets de connexion :

- Objets utilisés pour collecter et analyser des données, dont les tâches principales sont de collecter et de transmettre des informations.
- Objets qui répondent et activent la logique de commande de contrôle déclencher des actions à distance. [1]

1.2-l'Internet des objets IOT

L'IOT est l'acronyme de Internet des objets (l'interner of things en English). Sa première apparition était en 1999, est un système équipements informatiques, machines numériques, objets, animaux ou personnes fournit des identifiants et des fonctionnalités uniques les données sont transmises sur le réseau sans avoir besoin d'interaction d'homme à homme ou d'homme à ordinateur. [39]

L'IOT est un immense réseau reliant des objets et des personnes ils collectent et partagent des données sur la façon dont ils sont utilisés et sur l'environnement qui les entoure. [39]

1.3-Domains d'utilisation

La technologie IoT révolutionne la vie quotidienne de nombreux individus, que ce soit à travers des montres intelligents, des réfrigérateurs intelligents, des voitures intelligents, et bien d'autres encore. Elle est également largement utilisée dans des secteurs tels que l'industrie et la santé. L'Internet des objets offre de nombreux avantages, notamment en réduisant les coûts pour les entreprises et en fournissant des résultats de meilleure qualité. [3]

1.4-Modèles de référence

L'Internet des objets nécessite un modèle de référence qui décrit comme ces systèmes, réseaux et applications interagissent les uns avec les autres.

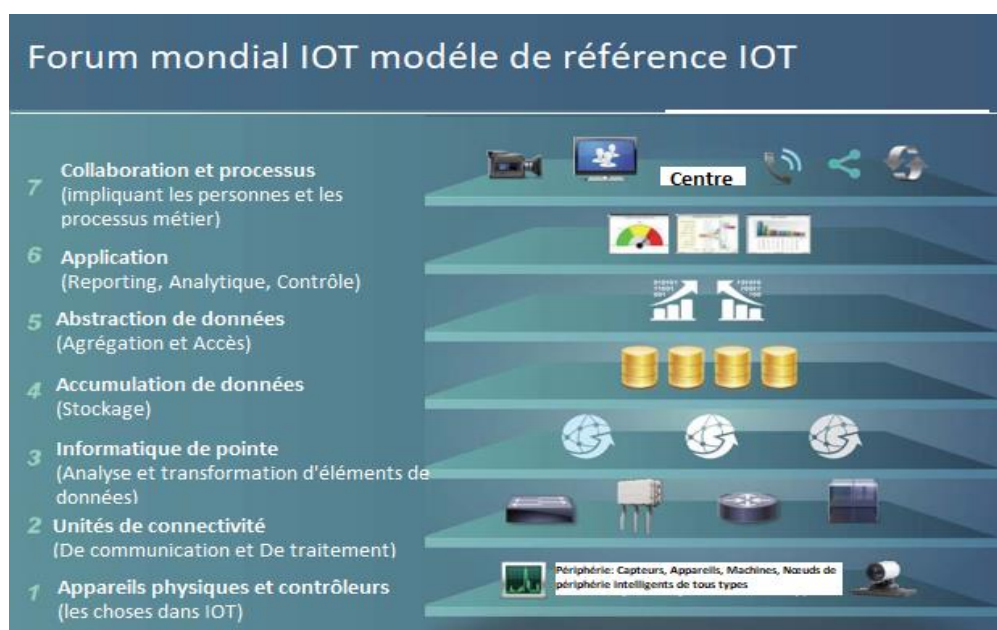


Figure1.1-Modèles de référence d'IOT. [5]

En fait, un tel modèle aurait des avantages :

- Faciliter la compréhension de systèmes complexes décomposés en parties plus compréhensibles.
- Clarifier en fournissant des informations supplémentaires identifiant les couches IOT et en fournissant une terminologie commune.
- Standardisation pour créer les conditions d'interopérabilité entre les produits IOT de différents fabricants.
- L'organisation rend l'internet des objets plus accessible et moins conceptuel. [4]

1.5- Protocoles IOT

Les futurs standards de communication qui relieront le vaste internet des objets ne sont pas encore définis et font l'objet de vives polémiques avec des intérêts techniques, économiques et politiques. La communication sur Internet repose sur la couche Internet Protocol (IP), qui harmonise partiellement toutes les normes existantes, mais l'Internet des objets à des protocoles spécifiques pour certaines industries et applications qui n'assurent pas une communication uniforme et sécurisée entre des appareils hétérogènes. [40]

1.5.1-Les protocoles d'accès

1.5.1.1-Protocole M2M

La communication machine à machine est la connexion des technologies de l'information avec des objets dits intelligents et communicants afin de leur donner la possibilité d'interagir avec le système de communication sans intervention humaine. Ce dernier peut appartenir à un organisme ou à une entreprise.

Les principaux protocoles et les différentes solutions réseaux permettant la mise en place d'applications M2M sont : [40]

1.5.1.1.1- Z-Wave : est un protocole de communication sans fil principalement utilisé dans les réseaux domestiques intelligents, permettant aux appareils

intelligents de se connecter et d'échanger des commandes de contrôle et des données entre eux.

Avec une communication maillée bidirectionnelle et la détection des messages, le Z-Wave aide à atténuer les problèmes d'alimentation et fournit une connectivité sans fil économique pour la domotique en fournissant une alternative Wi-Fi à faible consommation et une alternative à plus longue portée aux offres Bluetooth. [8]

1.5.1.1.2- Zigbee : En termes simples, Zigbee est un protocole radio qui permet aux appareils intelligents tels que les ampoules, les prises, les prises, les serrures intelligentes, les détecteurs de mouvement et les capteurs de porte de communiquer entre eux via un "PAN". (Réseau personnel).

En tant qu'appareil autonome, ce PAN peut être utilisé avec des appareils tels que des télécommandes, des interrupteurs muraux à piles et des porte-clés à des fins de contrôle de base. Ce ne sera pas particulièrement intelligent, mais cela fonctionnera bien pour des tâches simples comme allumer une lumière sans se lever pour appuyer sur un interrupteur. [9]

1.5.1.1.3- NFS (Near-Field communication) : La communication à courte portée est un ensemble de protocoles de communication permettant à deux appareils électroniques de communiquer sur une distance pouvant atteindre 4 cm.

NFC fournit une connexion à faible vitesse avec une configuration facile qui peut être utilisée pour créer des connexions sans fil plus performantes. [10]

1.5.1.2-Protocole LAN

LAN (Local Area Network) est un ensemble de terminaux connectés ensemble au même emplacement physique, souvent sur IP. Il peut s'agir, par exemple, du domicile d'une personne physique, mais aussi d'un immeuble ou d'un bureau dans le cas d'une entreprise. Ce réseau informatique n'est pas nécessairement petit car il est local. En fait, il peut héberger des milliers d'utilisateurs et d'appareils tels que des PC, des téléphones IP, des serveurs et des imprimantes réseau "FDDI". [11]

Certains des protocoles LAN les plus courantes sont "Ethernet", "Token Ring" et "FDDI" :

1.5.1.2.1- Ethernet : C'est de loin le protocole LAN le plus courant. Il peut être trouvé dans les maisons et les bureaux du monde entier et peut être reconnu par le commun « CAT5 » de cuivre du câble. [12]

1.5.1.2.2- Token Ring : Il s'agit d'une ancienne technologie LAN qui n'est plus largement utilisée. Principe de base « Anneau à jeton » est un « jeton », il est transmis du système vers ou via le concentrateur et seul le destinataire lit le jeton. [13]

1.5.1.2.3- FDDI (Distributed Data Interface Fibre) : Indique comment le trafic LAN est acheminé via un câblage à fibre optique. Les câbles à fibre optique. Sont utilisés lorsque de plus longues distances sont nécessaires, généralement entre des étages ou des bâtiments, ou lorsqu'une sécurité accrue est requise. [14]

1.5.1.3-Protocole WAN

Les protocoles WAN se caractérisent par leur capacité à transmettre efficacement des données sur de plus longues distances, telles que des centaines de kilomètres. Il est généralement nécessaire de lier des données entre plusieurs réseaux locaux.

Les plus couramment utilisés aujourd'hui sont "Frame Relay", "X25", "Integrated Services Digital Network" ou "ISDN" et "Point-to-Point Protocol".

1.5.1.3.1- Frame Relay et X25 : Ils sont similaires en ce sens qu'il s'agit de technologies de commutation de paquets pour la transmission de données longue distance. " Relais de trame" est plus récent et plus rapide, tandis que X25 fournit des données plus fiables. [15]

1.5.1.3.2- PPP : Il s'agit d'un protocole utilisé pour transférer des données vers d'autres protocoles sur des supports qui ne les prendraient normalement pas en charge, tels qu'envoyer un « Internet Protocol » ou une adresse IP sur des lignes série.

1.5.1.3.3- ISND : Réseau de services numériques groupés est un réseau de télécommunications qui permet des données numériques de bout en bout et fournit de multiples services de télécommunications et de support. [16]

1.5.2-Les protocoles applicatifs

Un protocole d'application est un ensemble de règles qui définissent la façon dont deux applications informatiques communiquent. Ils s'appuient sur des protocoles de transport (TCP/UDP) pour construire des routes et échanger des données selon toutes les règles du protocole d'application sélectionné. [17]

1.5.2.1-Quelques protocoles applicatifs

1.5.2.1.1- TCP / UDP : Le protocole de contrôle de transmission (TCP) et le protocole de datagramme utilisateur (UDP) sont les pierres angulaires d'Internet et permettent différents types de transmission de données d'une source réseau à une destination. TCP est plus fiable tandis qu'UDP se concentre sur la vitesse et l'efficacité. [18]

1.5.2.1.2- IPv4 : Internet Protocol Version 4 (IPv4) est la quatrième version du Protocole Internet (IP). C'est l'un des principaux protocoles pour la mise en réseau de base sur des normes sur Internet et d'autres réseaux à commutation de paquets. [19]

1.5.2.1.3-XMPP : est une suite de protocoles standard ouverts Internet Engineering Task Force (IETF) pour la messagerie instantanée et plus généralement pour une architecture d'échange de données décentralisée.

XMPP consiste en le protocole TCP/IP qui utilise une architecture client-serveur qui permet l'échange décentralisé de messages instantanés entre les clients.

XMPP est continuellement et ouvertement développé au sein de l'IETF.

1.6- Architecture IOT

L'architecture IOT se compose de différentes couches de technologies compatibles IOT. Il est utilisé pour illustrer la relation entre différentes technologies et pour montrer l'évolutivité, la modularité et la configuration des implémentations IoT dans différents scénarios. [20]

La figure 4 montre l'architecture détaillée de l'IOT. La fonctionnalité de chaque couche est décrite ci-dessous :

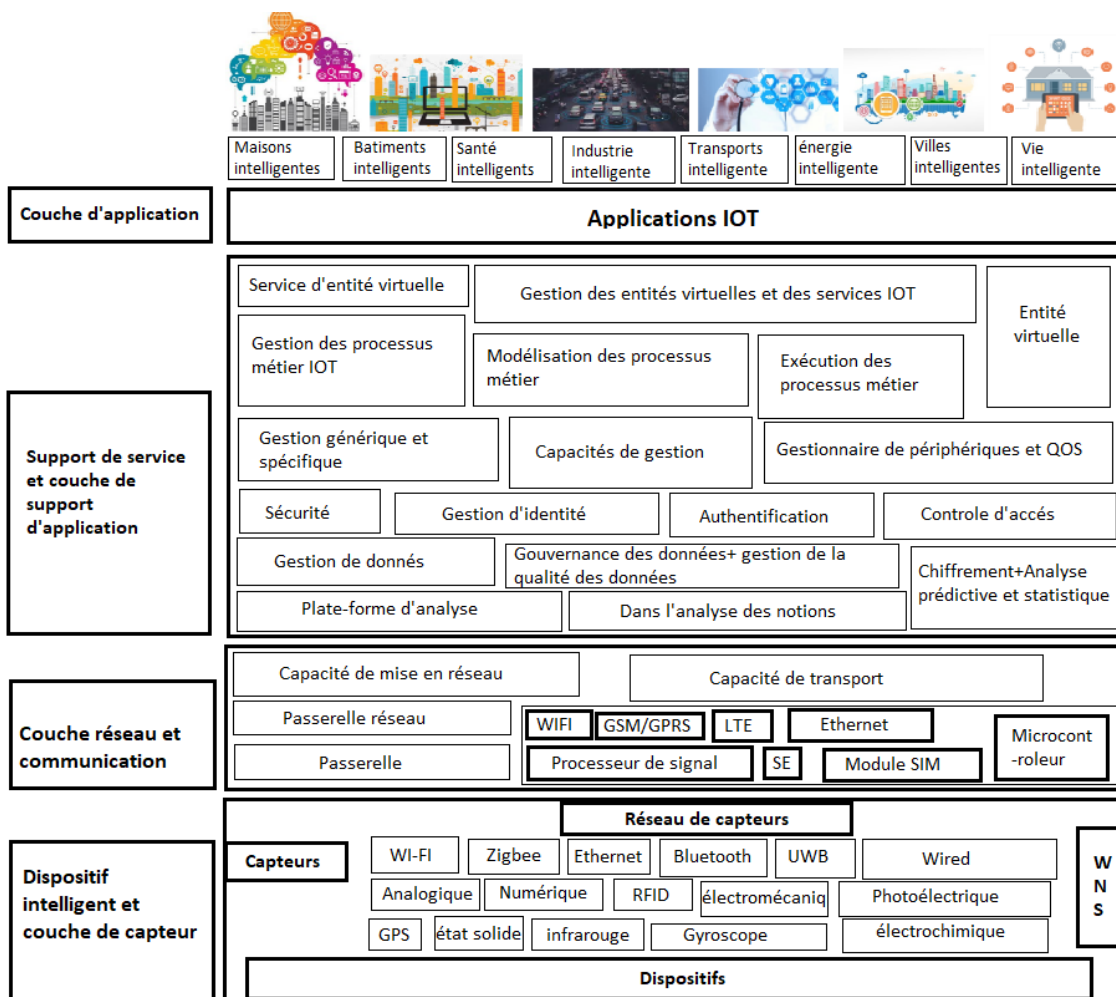


Figure1.2-L'architecture de l'IOT. [20]

1.6.1- Appareil intelligent : est composé d'objets intelligents intégrés à des capteurs. Les capteurs permettent l'interconnexion des mondes physique et numérique permettant de collecter et de traiter des informations en temps réel. [20]

1.6.2- Couche de communication réseau : les lectures sont envoyées au routeur ou à la passerelle via le protocole propriétaire LoRa et envoyées au cloud via le réseau cellulaire. [20]

1.6.3- Couche support applicatif : le cloud stocke et traite les données pour générer des alertes en temps réel et, si possible, réduire le nombre total de données sauvegardées. [20]

1.6.4- Couche application : Le cloud génère des rapports et des analyses pour les utilisateurs finaux sur les applications et le stockage de données via des interfaces Web et de messagerie. [20]

2. LoRa

2.1-Présentation de LoRa

LoRa est une couche physique ou une modulation sans fil utilisée pour créer un lien de communication à longue portée. De nombreux systèmes sans fil traditionnels utilisent la modulation par déplacement de fréquence (FSK) comme couche physique car il s'agit d'une modulation très efficace pour obtenir une faible consommation d'énergie. LoRa est basé sur la modulation du spectre chirp, qui conserve les mêmes caractéristiques de faible puissance que la modulation FSK, mais augmente considérablement la portée de communication.

LoRa est la première implémentation à faible coût à usage commercial. [41]

2.1.1-Protocole LoRa

LoRa signifie "Long Range" et est un système de communication sans fil à longue portée promu par l'Alliance LoRa.

Ce système est destiné à être utile dans les appareils alimentés par des batteries longue durée où la consommation d'énergie est une grande préoccupation. LoRa peut généralement faire référence à deux couches distinctes :

- La couche physique, qui utilise la technique de modulation radio Chirp Spread Spectrum (CSS).
- MAC Layer Protocol (LoRa WAN).

LoRa WAN fournit un mécanisme de contrôle d'accès au média en permettant à plusieurs terminaux de communiquer avec la passerelle à l'aide de la modulation

LoRa. Alors que la modulation LoRa est propriétaire, LoRa WAN est une norme ouverte développée par la LoRa Alliance. [42]

2.1.2-Architecture de réseau LoRa

Un réseau LoRa typique est une "topologie étoile-étoile" qui comprend trois types d'appareils différents, comme illustré à la figure 1.3 :

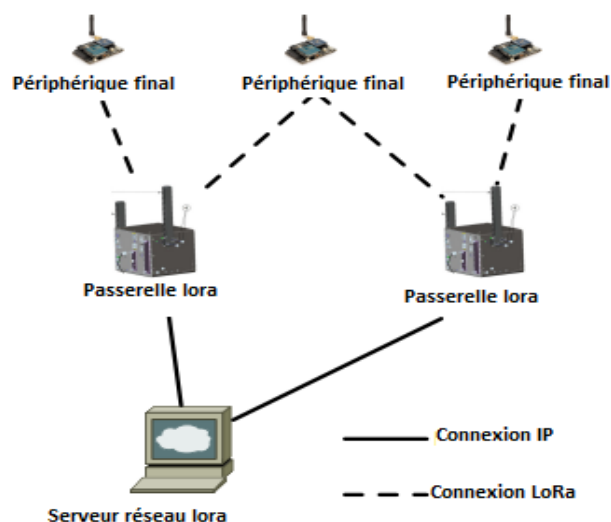


Figure 1.3-Architecture de réseau LoRa. [21]

L'architecture de base du réseau LoRa WAN est la suivante :

- Les terminaux communiquent avec les passerelles en utilisant LoRa avec LoRa WAN. Les passerelles transfèrent les trames LoRa WAN brutes des appareils vers un serveur Web via une interface de liaison à bande passante plus élevée, généralement Ethernet ou 3G.
- Les passerelles sont simplement des relais bidirectionnels ou des convertisseurs de protocole, le serveur Web étant chargé de décoder les paquets envoyés par les appareils et de générer les paquets à envoyer aux appareils. Il existe trois classes d'appareils finaux LoRa qui ne diffèrent que par la planification de la liaison descendante. [43]

2.1.3- Caractéristique de LoRa

L'utilisation de LoRa dans un réseau de capteurs présente des aspects intéressants :

- La couverture étant relativement étendue (des centaines de mètres à l'intérieur, des kilomètres à l'extérieur), les réseaux peuvent couvrir de vastes zones sans avoir à franchir de nombreux sauts.
- Les transmissions sur la même fréquence porteuse mais avec des facteurs d'étalement différents sont orthogonales. Cela vous permet de diviser le canal en sous-canaux virtuels.
- Si les transmissions sont effectuées simultanément avec les mêmes paramètres, la transmission la plus forte sera reçue avec une probabilité élevée, c'est-à-dire H les transmissions simultanées sont non destructives même si leur contenu est différent. Cette fonctionnalité est utilisée par LoRa WAN où toutes les passerelles balisent simultanément et un terminal est capable de démoduler la balise la plus puissante. [22]

2.1.4-Evaluation des fonctionnalités LoRa

LoRa possède des fonctionnalités intéressantes qui doivent être prises en compte lors de la création de protocoles réseau. Par exemple, la séparation des canaux sur plusieurs SF est possible, des transmissions non destructives simultanées sont possibles et la détection de porteuse via CAD est fournie. [26]

2.1.4.1-Facteurs d'étalement LoRa

Les différents coefficients de diffusion sont supposés orthogonaux les uns aux autres. De cette manière, il est possible d'établir des canaux virtuels sur la même fréquence porteuse (Code Division Multiple Access (CDMA)).

2.1.4.2-Transmissions simultanées

Dans LoRa, les transmissions simultanées doivent être non destructives, et cette fonctionnalité est très précieuse lors de la conception de protocoles. Glossy utilise des émissions coopératives bien planifiées. Dans le système Glossy, le même message est transmis avec précision sur plusieurs nœuds, ce qui permet une réception correcte.

A-MAC et White house est Utilisez l'effet de capture. Dans ce cas plusieurs messages différents sont transmis simultanément, et selon le niveau de puissance et la cadence, un des messages transmis simultanément peut être reçu.

2.1.4.3-Détection de l'activité du transporteur

Les émetteurs-récepteurs fournissent généralement une interface CCA pour la détection des canaux occupés. CCA est utilisé dans les protocoles de communication pour décider si des paquets peuvent être transmis et si la radio doit être active pour recevoir un message. En particulier pour les nœuds à puissance limitée, il est important de disposer d'un mécanisme CCA précis et rapide, car cela permet de mettre en œuvre un cycle de service économe en énergie. Les nœuds effectuent périodiquement de courtes vérifications CCA et n'alimentent le récepteur que plus longtemps lorsqu'une transmission est détectée.

2.2-Protocole LoRa WAN

LoRa WAN est un protocole LPWAN conçu pour utiliser la couche physique LoRa. Il est conçu principalement pour les réseaux de capteurs, dans lesquels les capteurs échangent des paquets avec le serveur avec un faible débit et des intervalles de temps relativement longs (une transmission par heure voire par jour). Cette section décrit la spécification LoRa WAN [44]

2.2.1-Analyse LoRa WAN

La figure 1.4 montre une implémentation typique du réseau LoRa WAN de bout en bout :

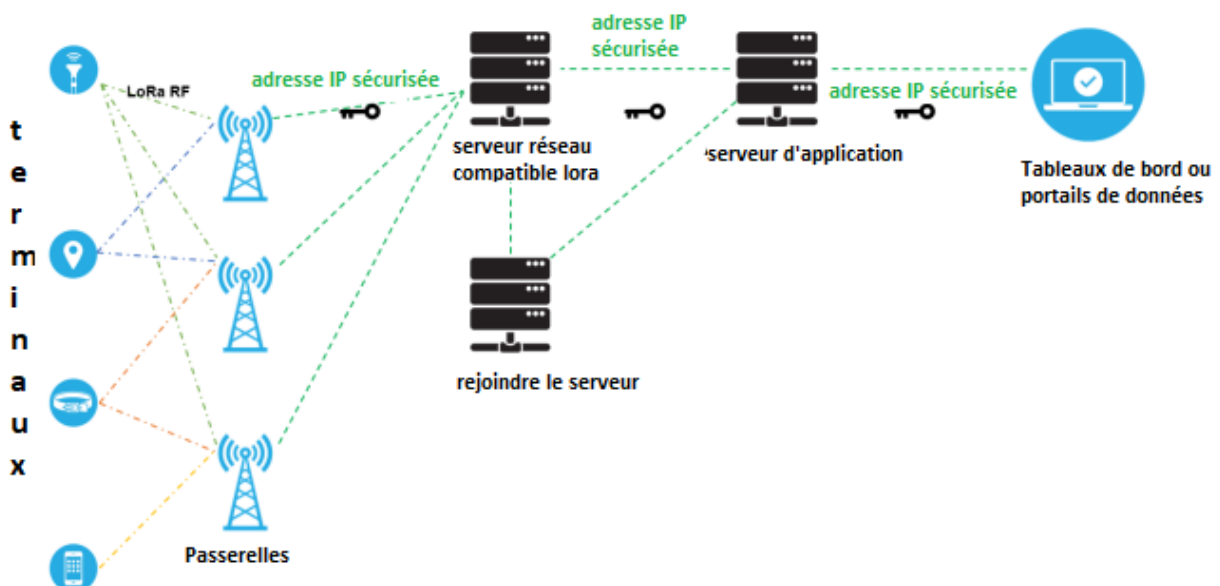


Figure 1.4- Implémentation typique du réseau LoRa WAN. [44]

2.2.1.1 - Appareils terminaux basée sur LoRa (LoRa-bases End Devises)

Un terminal compatible LoRa WAN est un capteur ou un actionneur qui est connecté sans fil au réseau LoRa WAN via des passerelles radio avec modulation RF LoRa.

Les applications typiques des actionneurs incluent : l'éclairage public, les serrures sans fil, les vannes d'arrêt d'eau, la protection contre les fuites.

Les appareils basés sur LoRa se voient attribuer différents identifiants uniques lors de la fabrication. Ces informations d'identification sont utilisées pour activer et gérer en toute sécurité l'appareil, assurer le transport sécurisé des paquets sur un réseau privé ou public et fournir des données chiffrées au cloud. [44]

2.2.1.2 - Passerelle LoRa WAN (LoRa WAN Gateway)

La passerelle LoRa WAN reçoit des messages radio LoRa modulés de chaque appareil distant et transmet ces messages de données au serveur de réseau LoRa WAN (LNS), qui est connecté via une dorsale IP.

Avec LoRa WAN, chaque paquet de liaison montante envoyé par l'appareil final est reçu par toutes les passerelles à portée. Cette solution réduit considérablement le taux d'erreurs sur les paquets et permet une géolocalisation économique. [44]

2.2.1.3 - Serveur réseau

Le serveur Web LoRa WAN (LNS) gère l'ensemble du réseau en contrôlant dynamiquement les paramètres du réseau, en adaptant le système aux conditions en constante évolution et en fournissant des connexions AES 128 bits sécurisées pour le transport de données de bout en bout et pour contrôler le flux de trafic du périphérique terminal LoRa WAN vers le LNS. Dans le même temps, le serveur Web ne peut pas voir ou accéder aux données d'application.

En général, tous les serveurs du réseau LoRa WAN partagent les fonctionnalités suivantes : [44]

- Vérification de l'adresse de l'appareil.
- Authentification des trames et gestion du compteur de trames.
- Adaptation de la vitesse de transmission des données pour utiliser le protocole ADR.

- Transmission de la charge utile de l'application de liaison montante au serveur d'applications correspondant.
- Transmettre la demande de connexion et accepter les messages entre les appareils et le serveur principal.

2.2.1.4 - Serveurs d'applications

Les serveurs d'applications sont responsables de la manipulation, de la gestion et de l'interprétation sécurisées des données d'application des capteurs. Ils génèrent également toutes les charges utiles de liaison descendante de la couche application vers les terminaux connectés. [44]

2.2.1.5 - Rejoindre le serveur

Le serveur d'intégration contient les informations requises pour traiter les trames de demande de jointure de liaison montante et générer des trames d'acceptation de jointure de liaison descendante.

Indique au serveur Web quel serveur d'applications se connecter au point de terminaison et effectue la dérivation de la clé de chiffrement de l'application et de la session réseau.

Envoie la clé de session réseau de l'appareil au serveur Web et la clé de session d'application au serveur d'application correspondant. [44]

2.2.2-Caractéristiques de LoRa WAN

LoRa WAN a plusieurs fonctionnalités que nous mentionnons : [23]

- Technologie sans fil exclusive développée par Semtech.
- Longue portée et faible consommation d'énergie.
- A une puissance de sortie de +14dbm, 868MHz.
- Communication robuste.
- Portée jusqu'à 5 km en milieu urbain, jusqu'à 15 km en banlieue.
- Autonomie de la batterie de plus de 10 ans.
- Insensible aux interférences des réseaux Wi-Fi, Bluetooth, GSM, LTE, etc.
- Amélioration de la capacité du réseau.

2.2.3-Sécurité : éléments du réseau LoRa WAN

La sécurité du réseau LoRa WAN se compose de deux éléments clés :

- Jointure et authentification des messages : La procédure de jointure établit une authentification mutuelle entre le terminal et le réseau LoRa WAN auquel il est connecté. Seuls les appareils autorisés peuvent accéder au réseau.

Ces fonctionnalités de sécurité garantissent que :

- Le trafic réseau n'a pas été falsifié.
- Seuls les appareils légitimes sont connectés au réseau LoRa WAN.
- Le trafic réseau ne peut pas être écouté (pas d'écoute clandestine).
- Le trafic réseau n'est pas intercepté et reproduit sûr, nous allons donc nous intéresser de plus près aux mesures de sécurité de LoRa WAN. [24]

Conclusion

Ce chapitre fournit une analyse complète de la modulation LoRa. Les résultats montrent que la modulation LoRa offre une bonne immunité au bruit en raison de la modulation spectrale de propagation.

Les tests sur le terrain montrent que LoRa peut fournir une couverture satisfaisante jusqu'à 3 km dans une zone suburbaine avec un développement résidentiel dense. Le facteur de propagation affecte considérablement la couverture du réseau et le débit de données, ainsi LoRa convient aux applications réseau à faible puissance, à faible vitesse et à longue portée.

Chapitre 2

Les techniques LORA dans IOT

Introduction

L'architecture LORA WAN est divisée en trois catégories par ordre d'importance, dont certaines que nous considérons comme prioritaires, et dont certaines que nous considérons comme facultatives en fonction de la consommation d'énergie. Et comment la technologie LORA peut-elle être appliquée à l'Internet des objets ?

Dans ce chapitre, nous étudierons différentes classes de LORA WAN et étudierons plusieurs technologies LPWAN liées au développement de l'IoT utilisant LORA, et nous étudierons quelques exemples d'applications dans lesquelles ils ont utilisé LORA, telles que son utilisation dans les villes intelligentes, les lumières intelligentes, etc.

1- La technologie LoRa

1.1- Les différentes classes de LoRa WAN

La spécification LoRa WAN publiée par la LoRa Alliance définit trois types de services : Classe A, Classe B et Classe C. Chaque nœud LoRa WAN utilisé dans le réseau doit implémenter l'une de ces trois fonctions. Les nœuds implémentent principalement la classe A en raison de leur faible consommation d'énergie, tandis que les classes B et C sont facultatives car elles consomment plus d'énergie.

LoRa WAN définit principalement trois types de classes de nœuds en fonction des exigences du protocole. Il existe des classes A, B et C. Chaque classe offre un compromis entre la consommation d'énergie et la latence de communication. [25]

1.1.1-Classe A

Cette classe A est la moins énergivore. Lorsque l'appareil a des données à envoyer, il le fait sans vérifier puis ouvre 2 fenêtres supplémentaires pour écouter les messages du serveur, les temps recommandés sont de 1 et 2 secondes. Ces 2 fenêtres sont les seules où le serveur peut envoyer les données au matériel qu'il a préalablement stockées pour lui. Il n'est pas rétro-éclairé. [45]

1.1.2-Classe B

Cette section décrit les règles de fonctionnement de l'objet en termes de Classe B selon la spécification LoRa WAN. Nous montrons également les différences dans le passage de la classe A à la classe B en fonction de la spécification.

Cette section décrit une couche LoRa WAN de classe B optimisée pour les appareils alimentés par batterie, qui peuvent être mobiles ou fixes.

La classe B est obtenue en envoyant périodiquement une balise à la passerelle pour synchroniser tous les appareils sur le réseau, permettant à l'appareil d'ouvrir une fenêtre de réception courte supplémentaire (appelée "slot ping") à un moment prévisible dans une plage de temps périodique.

Avant de passer de la classe A à la classe B, le device doit d'abord recevoir un beacon pour aligner sa référence d'horloge interne avec le réseau. Une fois en classe B, le périphérique final doit périodiquement rechercher et recevoir un beacon pour annuler toute dérive de son d'horloge interne, par rapport à la synchronisation du réseau. Un périphérique de classe B peut être temporairement incapable de recevoir des beacons (hors de portée des passerelles réseau, présence d'interférences...). Par conséquent, le terminal doit élargir progressivement ses fenêtres de réception de beacon et de ping pour prendre en compte une éventuelle dérive de son horloge interne. [45]

1.1.3-Classe C

Prenant en charge l'option classe C sont utilisés pour les applications qui disposent d'une puissance plus que suffisante et n'ont donc pas besoin de minimiser le temps de réception. Les terminaux de classe C ne peuvent pas

implémenter les options de classe B. Un appareil de classe C écoutera les paramètres des fenêtres RX2 aussi souvent que possible.

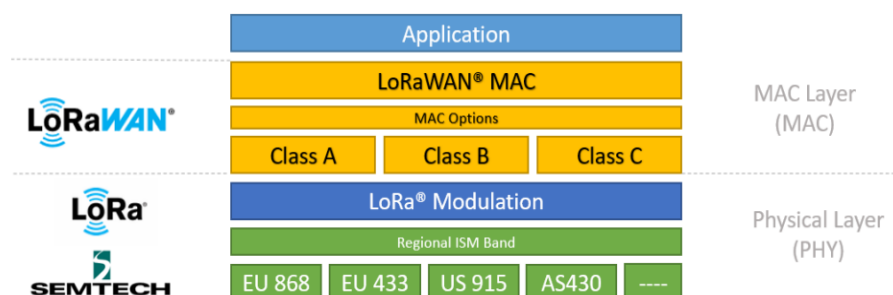


Figure2.1- La technologie LoRa WAN. [32]

Deuxième fenêtre de réception pour les appareils de classe C Les appareils de classe C suivent les deux mêmes fenêtres de réception que les appareils de classe A, mais ne ferment pas la fenêtre RX2 tant qu'une retransmission n'est pas requise. Cela leur permet de recevoir à tout moment une liaison descendante dans la fenêtre RX2.

Liaison descendante multidiffusion Comme les appareils de classe B, les appareils de classe C peuvent recevoir des trames de liaison descendante multidiffusion. L'adresse de multidiffusion et la clé de session réseau et la clé de session d'application associées doivent provenir de la couche application. Les mêmes limitations s'appliquent aux trames de multidiffusion de liaison descendante de classe C. [32]

2-Présentation de LoRa IOT

LoRa IOT fait référence à la connexion d'objets au réseau via des modules LoRa, des passerelles et d'autres appareils. LoRa IoT est la transmission de diverses informations requises collectées à partir de divers capteurs et terminaux tels que des capteurs vers des nœuds de réseau et des serveurs via le système LoRa. Le terminal peut également réagir en fonction des informations envoyées par le serveur ou un autre terminal. Le système LoRa IoT est connecté de manière bidirectionnelle. [26]

2.1-Application pratique de LoRa IOT

Ces dernières années, la technologie sans fil LoRa a mûri et a progressivement construit un écosystème complet d'applications IoT. Afin de promouvoir l'Internet des objets et de construire une ville intelligente, une plate-forme expérimentale IoT a été mise en place en utilisant la technologie LoRa Wan pour répondre aux besoins des citoyens avec des solutions intelligentes. Les scénarios d'application adaptés à LoRa IoT incluent également les types suivants par exemple : [27]

2.1.1-Smart city :

LoRa WAN sera une technologie incontournable dans les futures applications de ville intelligente avec l'Internet des choses comme : [28]

- Éclairage intelligent
- Surveillance de la qualité de l'air et de la pollution
- Stationnement intelligent et gestion des véhicules
- Gestion des installations et des infrastructures
- Détection et gestion des incendies
- Gestion des déchets

2.1.2- Bâtiment intelligent :

Les machines de construction conventionnelles ne peuvent pas satisfaire la recherche d'une meilleure qualité de vie, et la construction intelligente est devenue une tendance inévitable. Ces appareils IoT peuvent ajouter des capteurs selon les besoins, par exemple Capteurs de température, capteurs d'humidité, etc. Les informations recueillies par ces capteurs sont périodiquement transmises au système de surveillance ou de traitement automatique. Le superviseur ou le système de traitement automatique ajuste la température du climatiseur et l'humidité intérieure en fonction des données pour améliorer la qualité de l'air intérieur.

La longue durée de vie de la batterie de LoRa est bien reflétée ici. [29]

2.1.3-Feu intelligent :

Le travail de lutte contre les incendies est divisé en prévention des incendies et lutte contre les incendies, qui prennent tous deux du temps. La sécurité incendie ne consiste pas seulement à prévenir les incendies, mais aussi à

trouver et à éteindre le feu rapidement avant qu'il ne se déclare. La prévention des incendies de forêt est plus difficile que les autres mesures de protection contre les incendies. Il n'y a pas d'électricité dans la forêt et la zone forestière est immense. S'il y a une petite zone d'incendie, il est difficile de trouver l'emplacement de l'incendie.

Le système de protection incendie LoRa IoT peut très bien résoudre ce problème. LoRa a une large plage de transmission, une faible consommation d'énergie et une longue durée de vie de la batterie. Vous pouvez surveiller la situation de la forêt en temps réel et éteindre le feu en un rien de temps. Lorsqu'un bâtiment est sous le feu, LoRa transmet pour la première fois la situation d'incendie aux pompiers via la technologie de transmission sans fil, et les détecteurs de fumée LoRa WAN peuvent planifier une voie d'évacuation sûre pour que les pompiers puissent évacuer l'intérieur afin de réduire les dommages causés par le feu. [29]

2.1.4-Agriculture intelligent :

L'agriculture est un domaine sensible, notamment en termes de coût. Les appareils LoRa IoT coûtent moins cher que les autres appareils IoT, et la longue portée de transmission de LoRa signifie que moins d'appareils doivent être déployés dans les fermes et les débits, ce qui réduit encore les coûts opérationnels. Le dispositif LoRa IoT collecte des informations complètes sur l'environnement agricole grâce à des capteurs tels que la température, l'humidité, l'acidité, etc., puis transmet périodiquement ces informations au serveur cloud. Grâce à ces données, les agriculteurs peuvent déterminer le moment approprié pour irriguer et fertiliser, réduire l'utilisation des ressources en eau et améliorer les rendements des cultures. [30]

2.2-Avantage de système LoRa IOT

- Le réseau LoRa IoT présente une longue distance de transmission, une faible consommation d'énergie, de nombreux nœuds de réseau, une forte capacité anti-interférence et un prix bas.
- Longue distance de transmission.

- Faible consommation d'énergie de travail : la méthode Aloha ne se connecte que lorsqu'il y a des données, et la batterie peut fonctionner pendant plusieurs années.
- Plusieurs nœuds de réseau : mode réseau flexible, plusieurs les nœuds peuvent être connectés.
- Anti-interférence forte : le protocole a la fonction de LBT, basée sur la méthode Aloha, avec des fonctions de saut de fréquence automatique et d'adaptation de débit.
- Faible coût : sans licence, coût d'équipement nœud/terminal basse fréquence. [31]

2.3-Inconvénient du système LoRa IOT

- Interférence spectrale : avec le développement continu de LoRa, l'utilisation des appareils LoRa et du réseau continue d'augmenter, et certaines interférences spectrales se produisent entre eux.
- Nécessité de créer un nouveau réseau : lors du processus de mise en œuvre de LoRa, les utilisateurs doivent créer leur propre réseau.
- Petite charge utile : La charge utile des données du flux LoRa est relativement petite et a une limite d'octets. [31]

3-LPWAN : le concept fondamental de LoRa WAN IOT

3.1-Résumé de la technologie LPWAN

Les réseaux LPWAN (LPWAN, Low-Power Wide Area Network) ont été développés pour connecter des applications dans le domaine du M2M/IoT (Internet des objets) et sont déployés et ont montré un énorme potentiel pour la large gamme d'applications dans l'IoT et le M2M, en particulier dans les environnements restreints.

Les avantages de la technologie LPWAN se reflètent principalement dans : une faible vitesse, une consommation d'énergie ultra-faible, une longue portée, une faible puissance et une couverture élevée. Ces propriétés prouvent seulement que cette technologie est conçue pour le scénario de transmission longue distance de l'Internet des objets.

Les applications spécifiques incluent : la couverture urbaine, la lecture à distance des compteurs, l'inspection des trous d'homme et l'inspection des navires de pêche hauturière.

Le LPWAN est divisé en deux fractions principales : la bande de fréquences sous licence et la bande de fréquences sans licence. Les bandes de fréquences sous licence sont divisées en EC-GSM, EMTC et NB-IoT ; la "top carte" des bandes de fréquences sans licence est LoRa. [46]

3.1.1-EC-GSM :

- La technologie EC-GSM-IoT est basée sur la technologie GSM (2G) et son infrastructure et offre des gains d'efficacité et de portée (entre 10 et 20 dB), EC-GSM-IoT peut être déployé sur le réseau GSM existant (2G/3G/4G) avec une simple mise à niveau logicielle.
- Il se caractérise par un certain nombre d'améliorations de la sécurité qui posent problème dans le réseau 2G et réduisent les risques au niveau des réseaux 3G ou 4G existants.
- Par conséquent, le réseau EC-GSM-IoT est une méthode de communication intéressante lorsque le réseau 2G doit être maintenu pendant de nombreuses années et que le réseau 4G ne suffit pas. [33]

3.1.2-EMTC

- LTE-M ou EMTC est une version lente et efficace de LTE, mieux connue sous le nom de 4G.
- C'est le protocole avec la vitesse de téléchargement la plus élevée des trois technologies LPWAN (1 Mbps contre 63 kbps pour NB-IOT et 474 kbps pour EC-GSM-IoT) et offre la latence la plus faible.
- L'une des plus grandes forces du LTE-M : est l'intégration de la technologie VoLTE il est possible de transmettre la voix sur un réseau LTE-M et ainsi d'ouvrir la voie à de nouveaux cas d'utilisation, notamment en milieu industriel, en qui est la commande vocale parlée ou l'alarme de la maison. La technologie LTE-M prend en charge le passet rough, ce qui est essentiel pour les cas d'utilisation mobiles. Couverture étendue (EC) pour améliorer la réception d'objets enterrés ou intérieurs.

- En bref, la technologie LTE-M présente plusieurs avantages, à commencer par sa compatibilité avec les infrastructures existantes et la gestion du han Dover. Cependant, les débits qu'offre cette technologie sont encore élevés pour des cas d'utilisation nécessitant très peu d'échanges d'informations et à très basse fréquence. [34]

3.1.3-NB-IOT

- NB-IoT est le produit de la combinaison de NB-C IoT et NB-LTE. NB-C IoT propose une nouvelle technologie d'interface hertzienne plus modifiée que le réseau LTE traditionnel. Sa force est que le coût des modules de communication est inférieur à celui des modules GSM et NB-LTE.
- Le NB-LTE est rétro compatible avec le LTE existant et offre une mise en œuvre facile. Après de nombreuses controverses, les deux ont finalement été fusionnés pour former la norme technique pour NB-IoT.
- Conçu pour les capteurs fixes : capteurs agricoles, compteurs, éclairage, domotique. Dans toutes ces applications, les vitesses sont limitées et les terminaux ne doivent pas être en mouvement constant, comme c'est le cas par exemple avec un véhicule. Parmi les points forts de NB-IoT :
- Il peut être déployé dans les bandes 2G (GSM) et 4G (LTE), tandis que LTE-M n'est compatible qu'avec le réseau 4G.
- Est la norme qui consomme moins d'énergie lorsqu'une transmission continue est requise.
- Il est également "5G ready" et a été développé pour faire face à la croissance exponentielle des capteurs fixes dans les années à venir.
- Cependant, il ne permet pas la transmission. Par conséquent, ce n'est pas une technologie adaptée aux appareils mobiles. [35]

3.2-Comparaison de LoRa IOT et NB IOT

NB IOT	LoRa IOT
En termes de performances de la batterie, étant donné que le NB-IoT fonctionne sur un spectre cellulaire sous licence, il doit synchroniser régulièrement le réseau, ce qui consommera de l'énergie en conséquence.	LoRa IoT n'a pas ce problème de performances de batterie.
Le NB-IoT appartient à la construction de réseaux des opérateurs télécoms, et le côté métier n'a pas besoin de se préoccuper du déploiement des stations de base, ce qui est plus intuitif.	LoRa est un réseau d'entreprise auto-construit, il déploie lui-même des stations de base, surveille les opérations, la maintenance, l'optimisation, etc.
NB-IOT est une technologie LPWAN de réseau étendu à faible puissance régie par le 3GPP dans la version 13.	LoRa est un protocole de communication sans fil longue portée à faible consommation d'énergie développé par l'alliance LoRa.
NB-IOT opère dans le spectre sous licence qui est inférieur à 1 GHz.	LoRa convient aux projets à faible coût avec une couverture étendue.
NB-IOT est idéal pour les applications de niveau supérieur nécessitant l'assurance de QOS.	LoRa est un protocole asynchrone utilisé pour une mise en œuvre simple et louable.

Tableau 2.1 : Table de comparaison NB IOT et LoRa IOT. [35]

3.3-Pourquoi nous avons choisi LORAWAN plutôt que d'autres protocoles IOT populaires

LoRa WAN est le meilleur protocole à utiliser pour ce que nous présenterons dans notre étude d'application dans la prochaine partie qui est les détecteurs de fumée LoRa en raison de sa faible bande passante, sa longue portée et sa faible consommation d'énergie. D'autres solutions connexes telles que le Wi-Fi et Zig

Bee sont basées sur des technologies à courte portée. Par conséquent, il ne convient pas à une utilisation dans des environnements distants. De plus, LoRa WAN dispose d'un protocole ouvert et permet un déploiement réseau à moindre coût. Voici un tableau comparatif entre LoRa WAN et d'autres protocoles IoT utilisés pour la détection de fumée :

Protocole	LORA WAN	Zig Bee	Wi-Fi	Bluetooth
Type de réseau	Réseau LPWAN	Réseau maillé	Réseau centralisé	Réseau ad hoc
Portée maximale	Plusieurs kilomètres	Jusqu'à 70 mètres	Jusqu'à 100 mètres	Jusqu'à 10 mètres
Consommation d'énergie	Faible.	Faible à moyen.	Élevée	Faible.
Débit de données	Jusqu'à 50 Kbps	Jusqu'à 250 Kbps	Jusqu'à 1 GBPS	Jusqu'à 3 Mbps
Autoriser le réseau privé	Oui	Oui	Oui	Non
Coût	Moyen	Moyen	Élevée	Faible
Fiabilité	Élevée	Élevée	Élevée	Moyenne

Tableau 2.2 : Table de comparaison entre LORAWAN et d'autres protocoles de technologie IOT.

En fin de compte, le choix du protocole dépend des besoins spécifiques de l'application. Si une portée maximale est requise avec une faible consommation d'énergie, alors LoRa WAN est le choix idéal pour nous dans ce cas. Si une haute fiabilité est essentielle, Zig bee ou Wi-Fi sont de bonnes options. Si le coût est un facteur important, Bluetooth peut être une option appropriée.

4-Travaux connexes

Les travaux connexes dans le domaine de l'Internet des objets (IoT) regroupent les recherches et développements réalisés par des experts dans différents domaines liés à l'IoT.

Martin et al [47] ont étudié les capacités de communication et les modèles de consommation d'énergie de l'émetteur-récepteur Semtech SX1272 LoRa dans le contexte de la construction de réseaux IoT publics. Les propriétés de communication uniques offertes par cet émetteur-récepteur sont analysées en détail, car elles jouent un rôle clé dans l'établissement de protocoles de communication et l'utilisation de cette technologie. L'utilisation de ces émetteurs-récepteurs permet de construire des infrastructures IoT plus efficaces en termes de portée de communication et de consommation d'énergie. Cependant, les schémas de modulation utilisés nécessitent une adaptation des protocoles MAC et des mécanismes de routage existants dans le domaine de l'IoT.

Augustin et al. [48] ont mené une étude comparative des performances des réseaux émergents LoRa et RPW LPWAN dans différents scénarios, urbains, suburbains et ruraux, en utilisant des connexions point à point. Les chercheurs ont observé que la variation du facteur d'étalement (SF) dans LoRa avait un impact significatif sur la sensibilité, tandis que la variable Nb dans RPW avait une sensibilité relativement faible. Ils ont évalué la portée des deux technologies dans différents environnements et ont constaté une correspondance étroite avec les études existantes. L'objectif principal de cette étude était d'évaluer les performances de LoRa PHY et RPW dans des connexions point à point, en utilisant à la fois des modèles mathématiques et empiriques pour déterminer la sensibilité du récepteur, la force du signal reçu et la portée maximale de couverture.

Georgette et al. [49] ont réalisé une étude approfondie portant sur les rôles, les opportunités et les aspects des villes intelligentes, de l'agriculture urbaine, des technologies de communication, de l'Internet des objets (IoT) et de l'apprentissage automatique dans le domaine de l'agriculture. L'étude met en évidence les

technologies WSN utilisées pour l'IoT, les applications agricoles compatibles avec l'IoT et l'apprentissage automatique, ainsi que l'importance des conditions pédologiques et météorologiques dans l'irrigation par ruissellement et la planification de l'irrigation. L'utilisation de l'IoT en combinaison avec la gestion intelligente des ressources permet aux agriculteurs de mieux planifier leurs activités agricoles. Le mémoire présente également divers algorithmes d'apprentissage automatique utilisés pour la surveillance des sols, du bétail, des cultures et de l'eau, ainsi que des méthodes d'estimation du stress hydrique. L'estimation de l'évaporation joue un rôle crucial dans la gestion du stress hydrique des cultures. De plus, le mémoire présente un mémoire de station météorologique avec prise en charge de l'IoT, ainsi qu'un mémoire de système d'irrigation intelligent basé sur les conditions du sol et de la météo. Une comparaison est également réalisée entre la station météo développée et d'autres brevets existants. Dans l'ensemble, ce mémoire propose une solution avancée et rentable pour la surveillance météorologique locale dans le domaine de l'agriculture.

Motlagh et al. [50] ont réalisé une analyse approfondie de la modulation LoRa, en examinant des aspects tels que le débit de données, la forme de la trame, le facteur d'étalement, la sensibilité du récepteur, les performances physiques et la couche de liaison de données. Des tests sur le terrain, des simulations et des évaluations effectuées par des experts ont permis de mesurer ces paramètres. Les résultats ont permis de proposer des solutions pour améliorer les performances, et un banc d'essai a été mis en place pour des tests empiriques. Les résultats ont démontré que la modulation LoRa présente une bonne immunité au bruit grâce à sa modulation spectrale à étalement de puce et à la sensibilité élevée du récepteur. Les tests sur le terrain ont révélé une couverture satisfaisante allant jusqu'à 3 km dans les zones suburbaines densément peuplées. De plus, le facteur de propagation a un impact significatif sur la couverture du réseau et le débit des données. En conséquence, la technologie LoRa est adaptée aux réseaux à faible puissance, à faible vitesse et longue distance. L'article souligne également que

LoRa WAN présente des similitudes avec le protocole LPWAN ALOHA, et ses performances diminuent lorsque la charge sur le lien augmente.

Förster et al. [51] se sont concentrés sur l'analyse du protocole LoRa WAN et ont proposé la conception d'un système de contrôle sans fil basé sur LoRa pour les systèmes d'irrigation goutte à goutte. L'objectif était de répondre aux exigences de coût et de complexité de cette application spécifique en proposant un protocole de communication de données personnalisé plus simple, plus efficace et moins coûteux. La solution présentée intègre les résultats de la mise en œuvre matérielle et logicielle des nœuds sans fil en utilisant la technologie LoRa pour un contrôle sans fil à faible coût. Comparé au protocole LoRa WAN existant, cette solution offre des avantages en termes de coût et de complexité pour les systèmes d'irrigation goutte à goutte. Les développements futurs envisagés incluent l'ajout de capteurs pour surveiller les données environnementales telles que l'humidité et la température du sol, ainsi que le développement d'un système de contrôle capable de prendre des décisions automatiques basées sur les données collectées.

Singh et al. [52] ont réalisé une évaluation des simulateurs IoT et des réseaux de capteurs sans fil (WSN) disponibles, en mettant un accent particulier sur la technologie de réseau étendu à faible puissance (LPWAN) appelée Long Range (LoRa). L'article commence par retracer l'historique des outils de simulation sans fil et IoT, mettant en évidence le rôle crucial des réseaux de capteurs sans fil dans la vision de l'IoT en raison de leur conception robuste et de leurs concepts de réseau autoorganisés. Les LPWAN, en particulier LoRa, sont considérés comme des technologies prometteuses grâce à leur faible consommation d'énergie et leur longue autonomie. L'article compare ensuite les performances de différentes technologies LPWAN, dont LoRa, LTE-M, Sigfox et NB-IoT, en se basant sur des critères tels que le taux de livraison des paquets, l'utilisation du processeur, l'utilisation de la mémoire, le temps d'exécution et le nombre de collisions.

Hashim et al. [53] mettent en évidence dans leur mémoire l'importance de l'intégration des énergies renouvelables et de l'optimisation de la consommation d'énergie pour une transition énergétique durable. L'article examine en

particulier le rôle de l'Internet des objets (IoT) dans le secteur de l'énergie, soulignant ses diverses applications pour améliorer l'efficacité énergétique, accroître la part des énergies renouvelables et réduire l'impact environnemental de la consommation d'énergie. Les défis liés à la mise en œuvre de l'IoT dans ce domaine sont également abordés, en mettant l'accent sur la confidentialité et la sécurité des données. Présente les résultats d'une enquête menée auprès de décideurs politiques, d'économistes et de gestionnaires de l'énergie, qui mettent en évidence le rôle clé de l'IoT dans l'amélioration des systèmes énergétiques. En transformant les systèmes énergétiques d'une chaîne d'approvisionnement centralisée et hiérarchique en un système décentralisé et intelligent, les technologies telles que l'IoT offrent de nouvelles possibilités pour la transition vers une énergie plus durable.

5- Table de comparaison

Référence de travail	Année	Objectif	Proposition	Résultats
[47]	2016	Ils ont étudié LoRa en tant que technologie de construction de réseaux IoT publics, ses capacités de connectivité pour l'émetteur-récepteur Semtech SX1272 LoRa et ses modèles de consommation d'énergie.	Protocole de communication LoRa de couche physique pour collecter les relevés de compteurs dans une ville	Leurs tests indiquent que les nœuds LoRa peuvent former un réseau couvrant 1,5 acre dans un environnement bâti, atteignant une durée de vie potentielle de 2 ans sur deux piles AA, 5 secondes de transfert de données et 80 heures de fiabilité.
[48]	2016	Sur la base de l'analyse et de l'évaluation de la modulation LoRa, ils ont proposé plusieurs solutions possibles pour améliorer les performances, car le facteur de propagation a un impact significatif sur la couverture du réseau, ainsi que	Un banc d'essai a été construit pour étudier expérimentalement les performances du réseau LoRa en termes d'évaluation des performances de la couche physique et de la liaison de	Les résultats montrent que la modulation LoRa présente une bonne immunité aux interférences grâce à la modulation du spectre chirper et à la sensibilité élevée du récepteur

		sur le débit de données, la sensibilité du récepteur et les performances physiques.	données à l'aide de tests et de simulations sur le terrain.	
[49]	2017	Ils ont étudié et analysé un protocole de réseau basé sur la modulation LoRa (LoRa WAN) pour développer un système de contrôle sans fil basé sur LoRa pour les systèmes d'irrigation goutte à goutte et un protocole de communication de données approprié pour répondre aux exigences, au coût et à la complexité de cette application spécifique.	Concevoir un système à faible coût pour contrôler le processus d'irrigation goutte à goutte.	La solution a été mise en œuvre à l'aide de la technologie modulaire LoRa pour un contrôle sans fil économique des systèmes d'irrigation goutte à goutte
[50]	2020	Ils ont étudié la possibilité de bénéficier de l'utilisation de l'Internet des objets pour améliorer l'efficacité énergétique, augmenter la part	Une grande variété de technologies modernes telles que les systèmes de communication intelligents (par exemple, 5G)	Ils ont conclu que les technologies modernes telles que l'Internet des objets peuvent aider le secteur de l'énergie en général à passer d'une chaîne d'approvisionnement

		des énergies renouvelables et réduire l'impact environnemental de la consommation d'énergie.		hiérarchique et centralisée à un système décentralisé, intelligent et efficacement optimisé, en particulier dans le contexte des réseaux intelligents.
[51]	2022	Utilisant une approche systématique, ils ont fourni une analyse du décalage temporel des simulateurs IoT, des réseaux sans fil disponibles, de l'utilisation du processeur, de l'utilisation de la mémoire, du temps d'exécution et du nombre de collisions.	Simulators IoT et Wireless Sensor Network (WSN) disponible	Il a été prouvé que la technologie LoRa offre une couverture de communication étendue, une faible consommation d'énergie, un faible coût, une longue durée de vie de la batterie et des capacités de grande capacité.
[52]	2022	Grâce aux technologies de communication et aux technologies WSN pour l'Internet des objets, ils peuvent introduire des applications agricoles dans les villes	Conception d'un système d'irrigation intelligent basé sur les conditions du sol et météorologique et une station météorologique sur mesure et des solutions	Le résultat du système développé a donné un résultat positif avec l'utilisation efficace de l'eau d'irrigation agricole et une augmentation de la qualité et de la quantité des cultures agricoles

		intelligentes et l'agriculture urbaine telles que le système d'irrigation intelligent qu'ils étudions qui dépend des conditions pédologiques et météorologiques où les paramètres pédologiques et météorologiques sont sélectionnés par différentes recherches. Mémoires en agriculture, ML et autres.	pour surveiller la météo locale.	grâce à l'application d'algorithmes ML aux conditions météorologiques disponibles.
[53]	2023	Leur objectif de recherche est d'évaluer les performances PHY pour LoRa et RPW sur une connexion point à point. Ceci a été réalisé en fournissant des modèles mathématiques continus dans le temps pour illustrer les principes de la couche physique de RPW et		Les résultats montrent que LoRa offre une sensibilité supérieure de 23 dB à RPW dans des conditions AWGN. À une distance de 100 m, la puissance maximale du signal reçu du RPW est de -39 dBm, soit 29 dB au-dessus de LoRa. La distance de couverture maximale atteinte par

		LoRa, tout en utilisant des modèles empiriques RPW et LoRa pour équilibrer l'analyse.		le RPW est de 15 km, soit 1,5 fois celle de LoRa
--	--	---	--	--

Tableau 2.3: Table de comparaison les travaux connexes.

6-Synthèse

Les travaux précédents mentionnés ci-dessus ont tous apporté des contributions précieuses à l'étude de LoRa en tant que technologie applicable dans différents domaines. LoRa a le potentiel de jouer un rôle essentiel en fournissant un réseau intelligent, rentable et performant pour les futures applications. Les travaux ont démontré que LoRa peut être utilisé pour créer des espaces facilitant la vie quotidienne, tels que le contrôle des lumières, des portails ou du chauffage à distance, et peut également être appliqué dans des domaines tels que l'agriculture urbaine pour soutenir les villes intelligentes. Par exemple, dans l'article [42], les auteurs ont développé des technologies d'irrigation pour les villes intelligentes en utilisant les communications IoT et les réseaux de capteurs sans fil (WSN). Cette approche, basée sur les conditions du sol et les données météorologiques, a conduit à une amélioration de la qualité et de la quantité des cultures agricoles et à une utilisation plus efficace de l'eau pour l'irrigation.

Ces mémoires démontrent que malgré les différentes avancées technologiques, les recherches sur LoRa progressent de manière positive et évoluent dans divers domaines. Par exemple, la construction de réseaux publics pour l'IoT et le développement des capacités de communication de LoRa dans le premier travail mentionné. De plus, de nombreuses études analytiques et articles ont analysé l'utilisation de LoRa dans l'Internet des objets, ainsi que l'évaluation des performances de LoRa WAN, un protocole LPWAN conçu pour les réseaux de capteurs.

Les résultats de ces mémoires sont variés et remarquables. Par exemple, le dernier mémoire [53] a montré que LoRa offre une sensibilité supérieure de 23 dB par rapport à RPW sous condition AWGN. La distance de couverture maximale atteinte par RPW est 1,5 fois supérieure à celle de LoRa. Ces résultats ouvrent la voie à de nombreuses possibilités pour améliorer et développer les performances de LoRa.

Nous pouvons constater le développement et la diversité des études portant sur LoRa, qui l'incluent dans de nombreux domaines de la vie quotidienne, tels que les bâtiments intelligents, l'agriculture, les réseaux sans fil, etc. Ces études

comparatives nous permettent de mieux comprendre le potentiel de LoRa dans le développement de l'IoT

Conclusion

Dans ce chapitre, nous présentons d'abord les différentes classes de LORA WAN et étudions la technologie LPWAN, qui est le concept de base de LORA WAN dans l'IOT, puis discutons de l'étude des activités applicatives dans lesquelles LORA est utilisé, tels que les bâtiments et appareils intelligents.

Nous avons également étudié son impact positif et négatif sur l'internet des objets et son développement. Enfin, nous avons compilé les travaux préliminaires précédents sur l'approche de développement LORA dans l'IoT et son application dans divers domaines pour voir son développement et son déploiement. Dans le chapitre suivant, nous présenterons la structure générale du système LORA dans l'Internet des Objets.

Chapitre 3

Présentation de l'architecture globale du système.

Introduction

Le chapitre présente l'utilisation croissante de l'Internet des objets (IoT) dans la surveillance environnementale, en particulier pour la détection d'incendie. Cependant, cette surveillance est souvent limitée par la gamme de réseaux sans fil, la consommation d'énergie et les coûts élevés. C'est là que la technologie LoRa (Long Range) entre en jeu. Le système LoRa pour la détection de fumée dans l'IoT se compose de trois niveaux : capteurs, passerelles et serveurs. Les capteurs collectent les données environnementales et les transmettent via un LoRa WAN à une passerelle LoRa, qui les transmet aux serveurs pour le stockage et le traitement. Si de la fumée est détectée, le serveur envoie une alerte immédiate à l'utilisateur concerné. Cette architecture offre une couverture étendue, une faible consommation d'énergie et une grande évolutivité pour une surveillance environnementale rentable et fiable.

En bref, cette architecture complète de système de détection de fumée LoRa IoT fournit une solution de surveillance environnementale rentable et fiable, avec une large couverture, une faible consommation d'énergie et une grande évolutivité. Il peut être utilisé pour surveiller les zones de danger d'incendie, telles que les forêts, les parcs naturels et les zones résidentielles, pour une

détection rapide des incendies et une réponse immédiate et C'est ce dont nous parlerons plus dans cette section

1. Le problème de la propagation des incendies de forêt et les solutions possibles à l'aide du système intelligent de prévention des incendies :

Le problème de la propagation des incendies de forêt et les solutions possibles à l'aide du système intelligent de prévention des incendies. Un système d'incendie intelligent peut désormais détecter les incendies en temps réel à l'aide de LoRa. Ainsi, lorsqu'il y a un risque d'incendie, le temps entre la détection et l'intervention est critique pour éviter les blessures et les dommages matériels. Pour résoudre ce problème, nous avons utilisé les protocoles LoRa en raison de leurs avantages en termes d'autonomie, de longue portée, de large couverture, etc.

Cette intégration vous donne la possibilité d'informer instantanément les pompiers ou le responsable des installations d'une menace d'incendie, en fonction de la situation, et de réagir immédiatement.

Le système intelligent de protection contre les incendies utilisant les technologies LoRa peut fournir une détection en temps réel, la collecte et la communication de données et la géolocalisation. Il peut mesurer le niveau d'incendie pour protéger la vie humaine. De plus, ce système intelligent garantit que les installations commerciales ou les forêts sont protégées contre les dommages causés par le feu. Contrairement à d'autres technologies qui mettent du temps à se déployer dans le monde, le protocole LoRa est déjà présent dans le monde entier.

Plus, avec des centaines de cas d'utilisation mis en œuvre et plus de 191 millions d'appareils, LoRa aide à créer une planète intelligente. D'ici 2026, plus de 50 appareils de communication mobile à faible consommation bénéficieront de LoRa. En fait, cette norme réalise le potentiel de l'Internet des objets (IoT). [36]

2-Utilisez LORA pour des solutions avancées

2.1. Architecture du réseau LORA dans détection de fumée

Créer un système de protection incendie intelligent à l'aide de LoRa nécessite d'installer un appareil au plafond de chaque étage du bâtiment et des capteurs

dans toutes les pièces ou en forêt sur certains arbres en fonction de la zone couverte par l'appareil. Lorsque le capteur détecte une menace d'incendie, les données d'incendie sont envoyées à la passerelle à l'aide de LoRa. Ce dernier reste connecté au système d'alarme incendie intelligent via un réseau local (LAN).

En même temps l'emplacement du feu, son intensité, etc. Il est envoyé aux services d'urgence ou au gestionnaire immobilier via un appareil mobile ou un ordinateur. Ce processus leur donne le temps de se déplacer efficacement et intelligemment pour éviter un désastre.

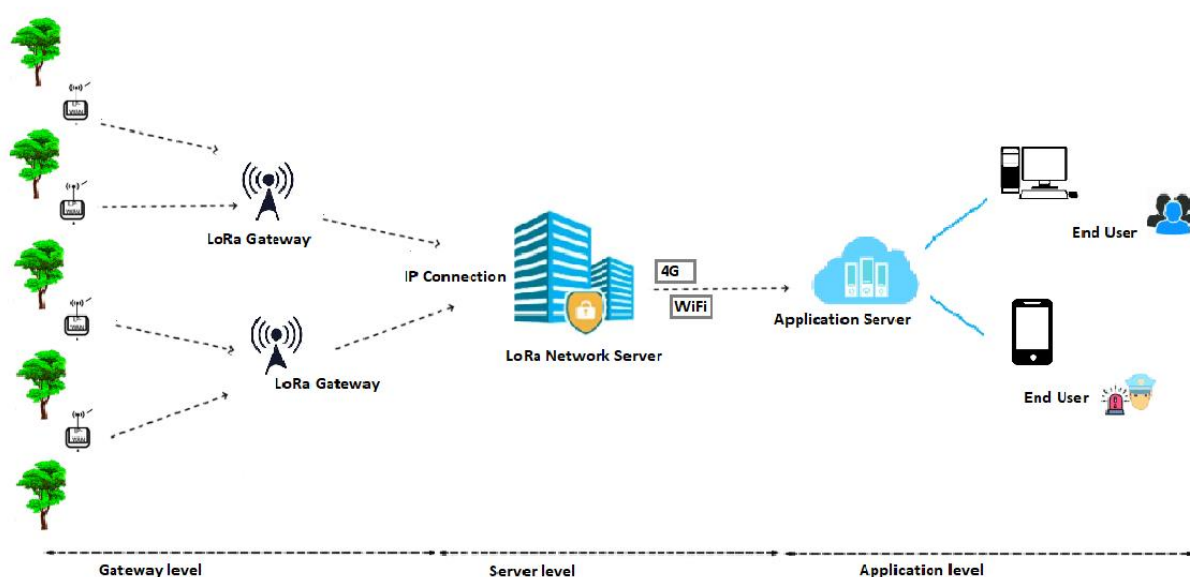


Figure3.1- Architecture globale du réseau LORA dans détection de fumée.

2.2. Comment fonctionne un détecteur de fumée LORA ?

Un détecteur de fumée LoRa fonctionne en utilisant un capteur de fumée pour détecter la présence de particules de fumée dans l'air et un module LoRa pour envoyer les données de détection à une passerelle centrale LoRa.

Voici comment cela fonctionne en détail :

Le capteur de fumée détecte les particules de fumée dans l'air et génère un signal électrique en réponse.

Le module LoRa intégré au détecteur de fumée encode le signal électrique en un signal radio LoRa, qui peut être transmis sans fil sur une longue distance.

Le signal radio LoRa est envoyé à la passerelle LoRa la plus proche, qui est généralement installée à un emplacement central dans le bâtiment.

La passerelle LoRa reçoit les données de détection de fumée de plusieurs détecteurs de fumée LoRa et les agrège en un seul ensemble de données.

Les données agrégées sont ensuite transmises à un serveur ou à une application qui peut analyser les données en temps réel et déclencher des alertes en cas de détection de fumée.

En utilisant le réseau LoRa pour la détection de fumée, les détecteurs de fumée peuvent être installés dans des endroits éloignés les uns des autres, tout en transmettant les données de détection à une passerelle centrale pour une surveillance centralisée. Cela permet une détection rapide et efficace de la fumée dans un bâtiment, ce qui peut sauver des vies en cas d'incendie. [37]

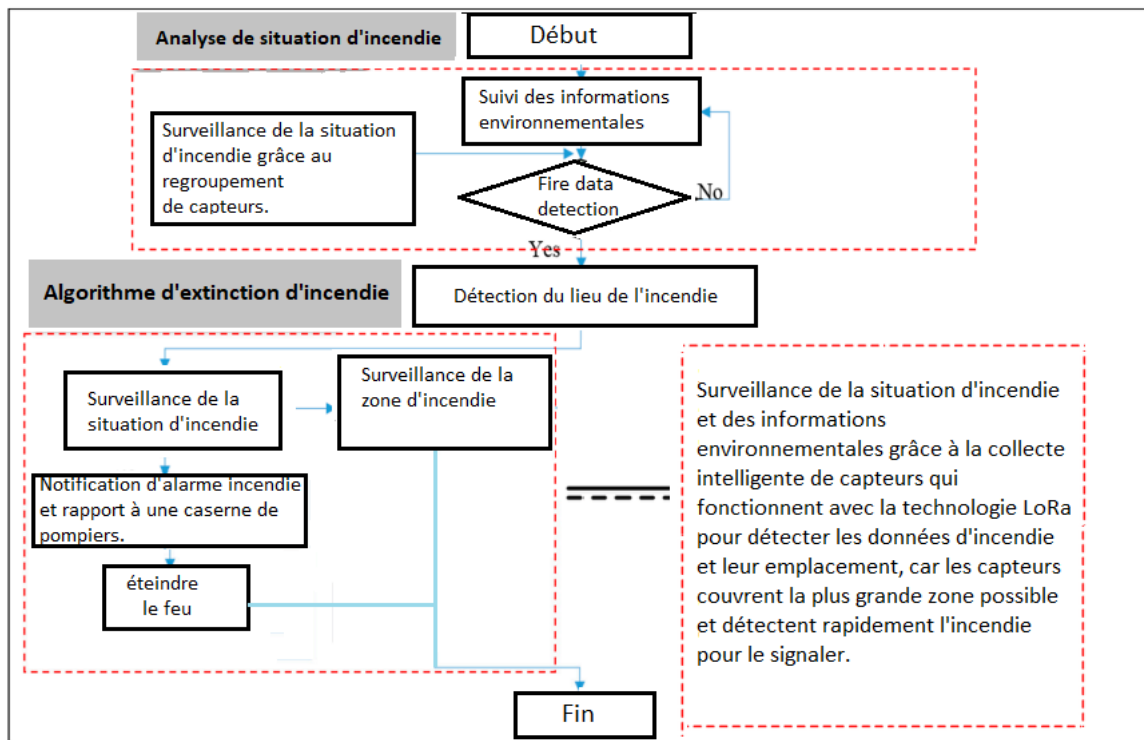


Figure3.2- Organigramme expliquant le fonctionnement d'un détecteur de fumée IOT basé sur LoRa.

2.3-Les 4 niveaux d'architecture

Voici les 4 niveaux d'architecture typiques pour un réseau LoRa dans la détection de fumée :

2.3.1- Niveau des capteurs :

Ce niveau comprend les capteurs de fumée, qui sont répartis dans un bâtiment pour détecter la présence de fumée. Les capteurs de fumée sont des dispositifs sans fil et autonomes, équipés de capteurs de fumée et d'un module LoRa pour la transmission des données. Les capteurs de fumée peuvent être installés dans des endroits éloignés les uns des autres, couvrant ainsi une grande surface pour une détection plus précise de la fumée.

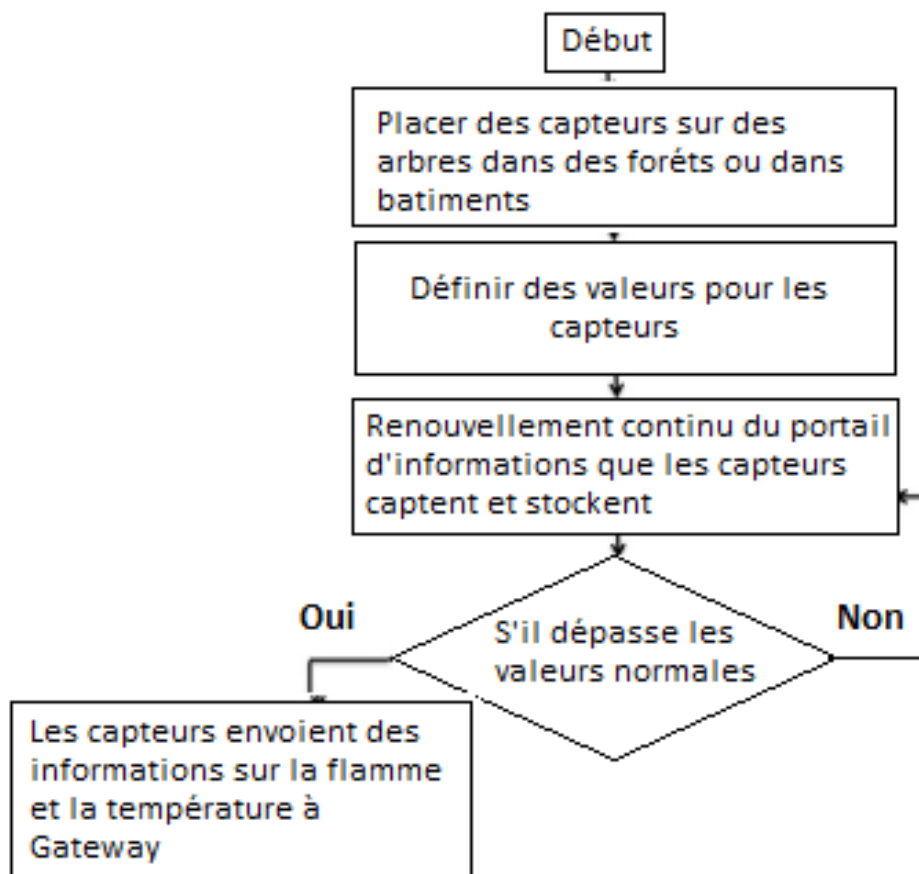


Figure3.3- Organigramme expliquant le fonctionnement des capteurs de fumée.

2.3.2- Niveau de la Gateway ou passerelle :

Le niveau de la passerelle comprend une passerelle LoRa, qui est un dispositif central de réception et de transmission pour les données de détection de fumée provenant des capteurs. La passerelle LoRa est installée à un emplacement central dans le bâtiment pour recevoir les données des capteurs de fumée et les

transmettre à un serveur ou à une application pour analyse. Le Gateway peut également être équipée de fonctions de filtrage et d'agrégation de données pour optimiser la communication et la gestion des données.

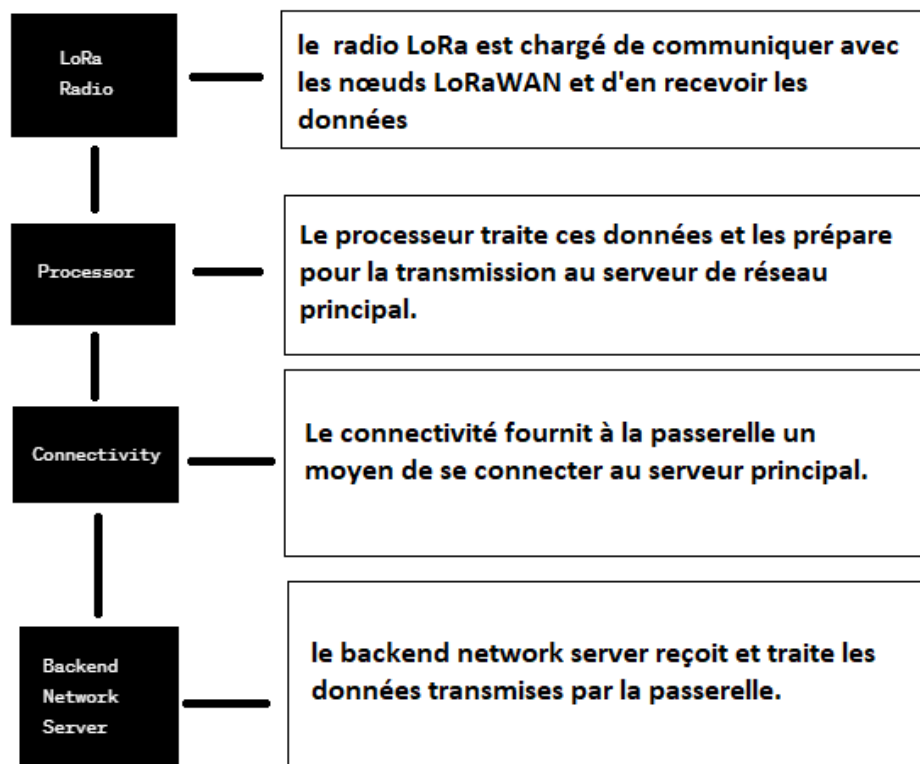


Figure3.4- Schéma simple montrant les composants d'une passerelle LoRa typique.

2.3.3- Niveau du serveur réseau LoRa :

L'implémentation du serveur réseau LoRa WAN peut être effectuée à l'aide de différentes solutions logicielles disponibles sur le marché. Cependant, il y a quelques étapes de base qui doivent être suivies pour la mise en place d'un serveur réseau LoRa WAN :

Choisissez une solution logicielle LoRa WAN Server : Il existe plusieurs solutions logicielles disponibles pour le serveur réseau LoRa WAN, telles que The Things Network, Chirp Stack, LoRa Server, etc. Il est important de sélectionner la solution la mieux adaptée à vos besoins et à votre infrastructure.

- **Configurez les paramètres de la passerelle :** Avant d'ajouter les nœuds au réseau, vous devez configurer les paramètres de votre passerelle. Vous pouvez configurer les paramètres de la passerelle en utilisant l'interface utilisateur de la solution logicielle LoRa WAN Server.
- **Ajoutez les nœuds au réseau :** Une fois que les paramètres de la passerelle sont configurés, vous pouvez ajouter des nœuds au réseau en utilisant leur identifiant unique de réseau (DevEUI). Vous pouvez également configurer les paramètres des nœuds LoRa, tels que les fréquences, les canaux, etc.
- **Configurez la sécurité :** La sécurité est une partie importante de tout réseau LoRa WAN. Vous pouvez configurer la sécurité du réseau en utilisant des clés d'authentification telles que l'App Key, l'App SKey, la Nwk SKey, etc.
- **Gérez les données :** Le serveur réseau LoRa WAN reçoit les données des nœuds et les traite avant de les envoyer à l'application. Vous pouvez gérer les données en utilisant des règles de traitement de données qui vous permettent de filtrer, de transformer et de transmettre les données aux applications.
- **Surveillez le réseau :** Il est important de surveiller le réseau LoRa WAN pour détecter les problèmes tels que les collisions de paquets, les interférences, etc. Vous pouvez surveiller le réseau en utilisant des outils de surveillance tels que les outils de débogage, les journaux système, etc.

En suivant ces étapes, vous pouvez mettre en place un serveur réseau LoRa WAN pour gérer le réseau LoRa WAN et authentifier les nœuds.

2.3.4- Niveau de l'application :

Effectivement, l'application serveur est un élément important du niveau d'application dans la détection de fumée avec LoRa. Elle reçoit les données de fumée transmises par les Gateway via le réseau LoRa, analyse et traite ces données, puis fournit des notifications d'alerte en cas de détection de fumée et des analyses et des rapports pour aider à la prise de décision.

L'application peut également fournir une interface utilisateur pour surveiller et gérer le système de détection de fumée LoRa.

L'application serveur peut être hébergée dans le cloud ou sur site, selon les besoins de l'utilisateur. Si elle est hébergée dans le cloud, elle peut être accessible depuis n'importe où avec une connexion Internet et peut être facilement mise à jour ou évoluer selon les besoins. Si elle est hébergée sur site, elle peut offrir une plus grande sécurité et un plus grand contrôle sur les données, mais peut nécessiter des coûts de maintenance et de mise à jour plus élevés.

L'application serveur peut également être personnalisée pour répondre aux besoins spécifiques de l'utilisateur, tels que l'intégration avec d'autres systèmes de sécurité, la mise en place de seuils d'alerte personnalisés ou l'ajout de fonctionnalités d'analyse de données avancées. Dans l'ensemble, l'application serveur est un élément clé de la chaîne de détection de fumée avec LoRa, qui permet de transformer les données brutes en informations utiles pour les utilisateurs finaux.

En résumé, Ce réseau offre une solution économique et pratique pour surveiller la présence de fumée dans différents environnements et permet une réaction rapide en cas de détection de fumée, ce qui peut sauver des vies et des biens.

3-Pourquoi nous avons choisi LORA dans IOT pour résoudre ce problème ?

Voici les avantages d'un détecteur de fumée LoRa que nous avons tendance à utiliser pour résoudre ce problème :

- Aucun temps d'arrêt Notre détecteur de fumée fournit une alerte précoce en cas d'incendie grâce à une surveillance en temps réel, jouant ainsi un rôle important dans la prévention et la résolution des dommages majeurs dès que possible.
- L'avantage premier du détecteur intelligent est qu'il se connecte à votre téléphone intelligent. Dès que l'appareil détecte de la fumée ou du monoxyde de carbone, vous recevez une notification, même si vous n'êtes pas à la maison. Vous pouvez appeler immédiatement les services d'incendie

- Le détecteur de fumée LoRa WAN est conçu avec la dernière technologie moderne LoRa. Peu coûteux à l'achat et conçu pour durer de nombreux kilomètres, tels sont les avantages de LoRa.
- Mesure et étude des risques, car il intègre toutes les informations relatives à la température, au risque d'incendie et à son évolution dans divers systèmes de surveillance et de contrôle externes.
- Temps de réponse plus rapide car il est conçu pour transmettre rapidement la propriété et l'état de l'alarme aux utilisateurs en temps réel.
- Plus longue durée de vie des piles Le détecteur de fumée LoRa est facile à configurer et ses piles peuvent durer plus de 20 ans car il utilise des procédés à faible consommation d'énergie.

Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons créé l'architecture du réseau LORA dans la détection de fumée à mettre en œuvre dans le chapitre suivant, en analysant chaque étape en détail, de la détection d'un incendie à l'envoi du message aux solutionneurs de problèmes.

L'architecture globale du système dans LoRa (Long Range) pour la détection de fumée dans l'IoT suit les mêmes principes généraux que l'architecture décrite précédemment, mais elle utilise des technologies spécifiques à LoRa pour offrir des avantages supplémentaires.

L'architecture globale du système LoRa pour la détection de fumée est également divisée en trois niveaux : les capteurs, les passerelles et les serveurs. Les capteurs sont des dispositifs LoRa équipés de capteurs de fumée, de température et d'humidité, qui collectent des données environnementales et les transmettent via un réseau LoRa WAN à une passerelle.

Les passerelles agissent comme des points d'accès entre les capteurs et les serveurs, et transmettent les données collectées à travers le réseau LoRa WAN vers les serveurs pour le stockage et le traitement. Les serveurs collectent les données de tous les capteurs connectés et les traitent pour détecter les anomalies, telles que la détection de fumée. En cas de détection de fumée, le serveur envoie une alerte immédiate à l'utilisateur concerné pour une action immédiate.

Le principal avantage de l'architecture globale du système LoRa pour la détection de fumée est sa capacité à fournir une couverture étendue et une faible consommation d'énergie, grâce à la technologie LoRa WAN. Les capteurs LoRa peuvent fonctionner sur batterie pendant des années et peuvent transmettre des données sur de longues distances, permettant une surveillance à distance et à grande échelle des incendies.

En résumé, l'architecture globale du système LoRa pour la détection de fumée dans l'IoT suit les mêmes principes que l'architecture générale, mais elle utilise la technologie LoRa WAN pour offrir une couverture étendue et une faible consommation d'énergie pour la surveillance à distance des incendies.

Chapitre 4

Implémentation

Introduction

Dans ce dernier chapitre, nous décrirons le processus de mise en œuvre de notre mémoire en détaillant les étapes clés. Tout d'abord, nous expliquerons l'environnement de développement que nous avons utilisé, y compris les outils et les langages de programmation. Ensuite, nous fournirons un aperçu des travaux appliqués, c'est-à-dire les différentes tâches que nous avons effectuées pour concrétiser notre idée. Nous expliquerons les choix que nous avons faits en termes de configuration et de paramètres, ainsi que les raisons derrière ces choix. Nous aborderons également les défis auxquels nous avons été confrontés et les solutions que nous avons trouvées pour les surmonter.

Enfin, nous présenterons les résultats que nous avons obtenus, mettant en évidence les performances et les avantages de notre architecture de réseau LoRa pour la détection des fumées.

1- Environnement de travail

Nous présentons dans cette section l'environnement matériel mis à la disposition du présent projet, ainsi que l'environnement logiciel et les langages utilisés pour le développement et la mise en place de notre scénario.

1.1- Environnement matériel

Pour la réalisation du mémoire, nous avons utilisé :

Un pc DELL pour le développement ayant les caractéristiques suivantes :

- Processeur Intel(R) Core(TM) i5-5300U CPU @ 2.30GHz 2.29 GHz
- 4 Go de mémoire vive,
- Disque dur de capacité 464 Go,
- Système d'exploitation Microsoft Windows 10 Professionnel.

1.2- Technologies

Les différentes technologies utilisées pour l'implémentation de notre scénario du réseau LORA dans détection de fumée :

1.2.1-OMNeTpp-6.0 :



OMNeT++ est un Framework de simulation à événements discrets largement utilisé pour la modélisation et la simulation de réseaux de communication, systèmes distribués et autres systèmes complexes. Il offre un environnement de développement complet pour la conception, l'analyse et la validation de modèles de réseau et de protocoles. [37]

1.2.2-FLoRa :



FLoRa (Framework for LoRa) est un cadre de simulation permettant de réaliser des simulations de bout en bout pour les réseaux LoRa. Il est basé sur le simulateur de réseau OMNeT++ et utilise également des composants du Framework INET. [38]

2- Contenu de notre scénario de réseau LORA

Dans cette partie, nous présentons le contenu de notre scénario du réseau LORA

- Capteur.
- LoRa Gateway.
- LoRa network server.

2.1- Capteur

Dans une architecture de réseau LoRa pour la détection des fumées, des capteurs spécifiques sont déployés pour détecter les températures élevées associées à un incendie. Ces capteurs sont programmés avec des seuils prédéfinis pour détecter les variations de température qui dépassent les valeurs normales. Ces capteurs détectent la température élevée résultant de l'incendie et envoient les données représentées dans le degré et l'emplacement de l'incendie au Gateway LoRa.

Lorsqu'un capteur détecte une température élevée, cela indique la présence possible d'un incendie. Le capteur collecte les données relatives à la température, telles que la valeur en degrés Celsius, ainsi que des informations sur l'emplacement où la température a été détectée.

Une fois que les données de température et d'emplacement sont collectées par le capteur, elles sont envoyées au Gateway LoRa. Le Gateway LoRa joue le rôle de Gateway de communication entre les capteurs et le réseau LoRa.

Ces données sont généralement envoyées à intervalles réguliers ou lorsque des variations significatives de température sont détectées. L'envoi régulier des données permet de suivre en temps réel les variations de température et de surveiller l'évolution d'un incendie éventuel.

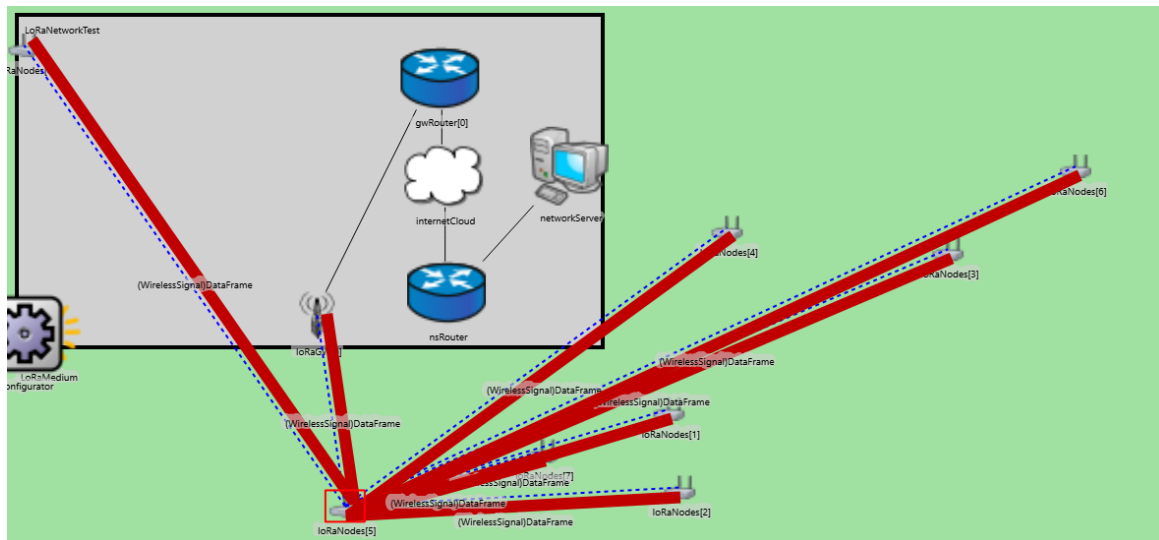


Figure 4.1- Chemin de transmission des informations entre les capteurs et Gateway.

En résumé, les capteurs programmés pour détecter les températures élevées d'un incendie envoient les données de température et d'emplacement au Gateway LoRa. Le Gateway LoRa transmet ensuite ces données au réseau LoRa, où elles peuvent être traitées et analysées par le serveur réseau pour prendre des mesures appropriées en cas de détection d'incendie.

```

29 #nodes features
30 **.numberOfNodes = 3
31 **.constraintAreaMaxX = 2376.0m
32 **.constraintAreaMaxY = 1090.0m
33 **.initFromDisplayString = false
34
35 **.loRaNodes[0]**.initialX = 590.63m
36 **.loRaNodes[0]**.initialY = 529.08m
37 **.loRaNodes[0]**.initialLoRaSF = 8
38 **.loRaNodes[0]**.initialLoRaTP = 8dBm
39 **.loRaNodes[0]**.initialLoRaBW = 125 kHz
40 **.loRaNodes[0]**.initialLoRaCR = 4
41 **.loRaNodes[0]**.evaluateADRinNode = true
42
--

```

Figure 4.2-Des commandes permettent de configurer les caractéristiques des capteurs dans un réseau.

Ces commandes permettent de configurer les caractéristiques des nœuds dans un réseau, tels que leur position, leur puissance de transmission et leurs paramètres de modulation. Et définit le facteur d'étalement initial (Spread ING Factor) du

premier nœud. Un facteur d'étalement plus élevé permet une plus grande portée, mais une plus faible vitesse de transmission.

La position des nœuds peut être configurée en spécifiant leurs coordonnées spatiales, ce qui permet de modéliser la disposition physique du réseau. Cela est important pour évaluer la propagation des signaux LoRa et comprendre la couverture du réseau dans différents environnements.

La puissance de transmission fait référence à la quantité d'énergie radioélectrique utilisée par un nœud pour envoyer des données. Elle peut être configurée pour chaque nœud individuellement. Une puissance de transmission plus élevée permet généralement d'atteindre une plus grande portée, mais elle peut également entraîner une consommation d'énergie plus élevée.

Les paramètres de modulation déterminent la manière dont les signaux sont modulés et démodulés pour la communication LoRa. Ils comprennent des paramètres tels que le facteur d'étalement (Spreading Factor) qui est utilisé pour étaler le signal sur une plus grande bande passante. Un facteur d'étalement plus élevé permet une plus grande portée, mais il entraîne également une plus faible vitesse de transmission, car la quantité de données pouvant être transmise par unité de temps est réduite.

En résumé, les commandes permettent de configurer des paramètres clés des nœuds, tels que leur position, leur puissance de transmission et leurs paramètres de modulation. Ces paramètres influencent la portée, la vitesse de transmission et la performance globale du réseau LoRa. Une configuration appropriée de ces paramètres est essentielle pour optimiser la couverture et l'efficacité de communication du réseau LoRa.

2.2- LoRa Gateway

Dans une architecture réseau LoRa pour la détection d'incendie, vous avez la possibilité de configurer les paramètres des passerelles (Gateway) dans votre réseau. Ces paramètres incluent notamment leur position spatiale et leur rôle en tant que passerelle. Avec Gateway qui ont reçu les données représentées dans le degré et l'emplacement de l'incendie des capteurs, il les envoie via son routeur au serveur de réseau LoRa, qui est le siège de LoRa.

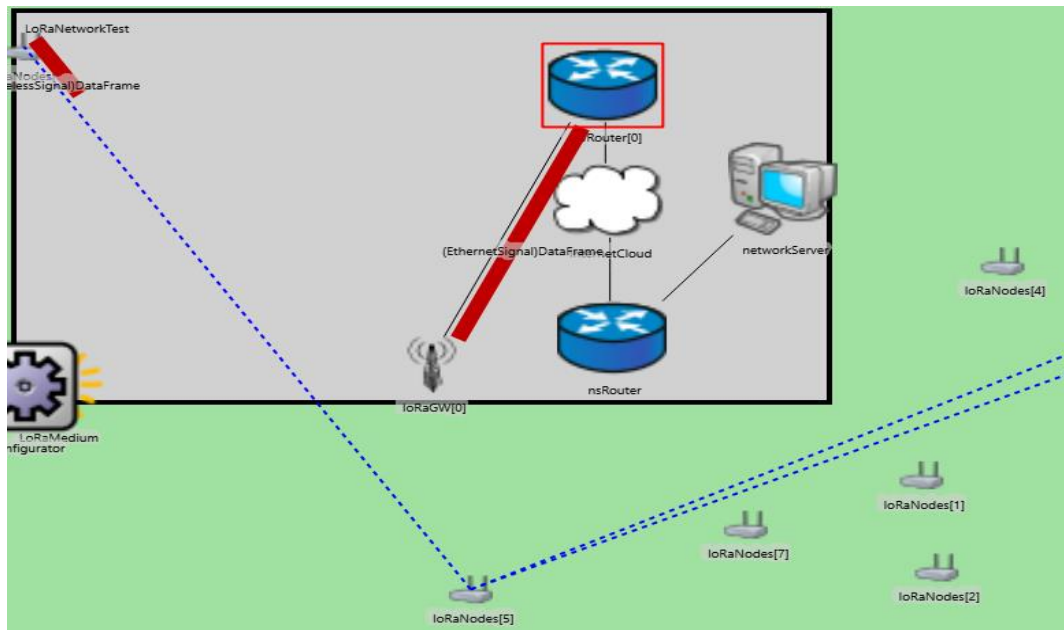


Figure 4.3- Chemin de transmission des informations entre Gateway et Router de network Server.

La position spatiale d'une Gateway LoRa fait référence à son emplacement physique dans le réseau. Il est important de positionner stratégiquement les passerelles afin de couvrir efficacement la zone à surveiller. La position des passerelles peut être déterminée en fonction de divers facteurs, tels que la densité de capteurs dans une région particulière ou la portée de communication requise.

```
#gateway features
**.numberOfGateways = 1
**.loRaGW[0]**.initialX = 544.00m
**.loRaGW[0]**.initialY = 544.00m
**.LoRaGNic.radio.iAmGateway = true

6  **.loRaGW[*].numUdpApps = 1
7  **.loRaGW[0].packetForwarder.localPort = 2000
8  **.loRaGW[0].packetForwarder.destPort = 1000
9  **.loRaGW[0].packetForwarder.destAddresses = "networkServer"
10 **.loRaGW[0].packetForwarder.indexNumber = 0
**
```

Figure 4.4-Configurer les paramètres de Gateway dans votre réseau LoRa.

En utilisant ces commandes, vous pouvez configurer les paramètres des Gateway dans votre réseau LoRa, y compris leur position spatiale et leur rôle en tant que Gateway.

En ce qui concerne le rôle des Gateway, elles jouent un rôle clé dans la collecte des données des capteurs et leur transmission vers le serveur de réseau LoRa. Les Gateway agissent comme des points d'accès entre les capteurs et le réseau LoRa. Elles reçoivent les données des capteurs à proximité et les transmettent au serveur de réseau pour traitement ultérieur, Le Gateway utilise des protocoles de communication appropriés pour acheminer les données vers le serveur de réseau LoRa.

En configurant les paramètres des Gateway, vous pouvez spécifier leur fonctionnement dans le réseau. Par exemple, vous pouvez définir une Gateway comme étant une passerelle principale qui gère la communication avec plusieurs capteurs, ou vous pouvez attribuer des rôles spécifiques aux passerelles en fonction de leur position géographique.

En résumé, la configuration des paramètres des Gateway LoRa dans votre réseau vous permet de définir leur position spatiale et leur rôle en tant que Gateway. Cela vous permet d'optimiser la couverture du réseau et de gérer efficacement la collecte des données des capteurs. Une configuration adéquate des passerelles contribue à assurer une communication fiable et une détection précise des incendies dans votre architecture réseau LoRa.

2.3- LoRa network server

Dans un réseau LoRa, le serveur réseau joue un rôle crucial dans la gestion et le traitement des données provenant des nœuds et des passerelles LoRa. Il agit comme un point central qui reçoit, analyse et traite les informations transmises par les nœuds via les passerelles LoRa.

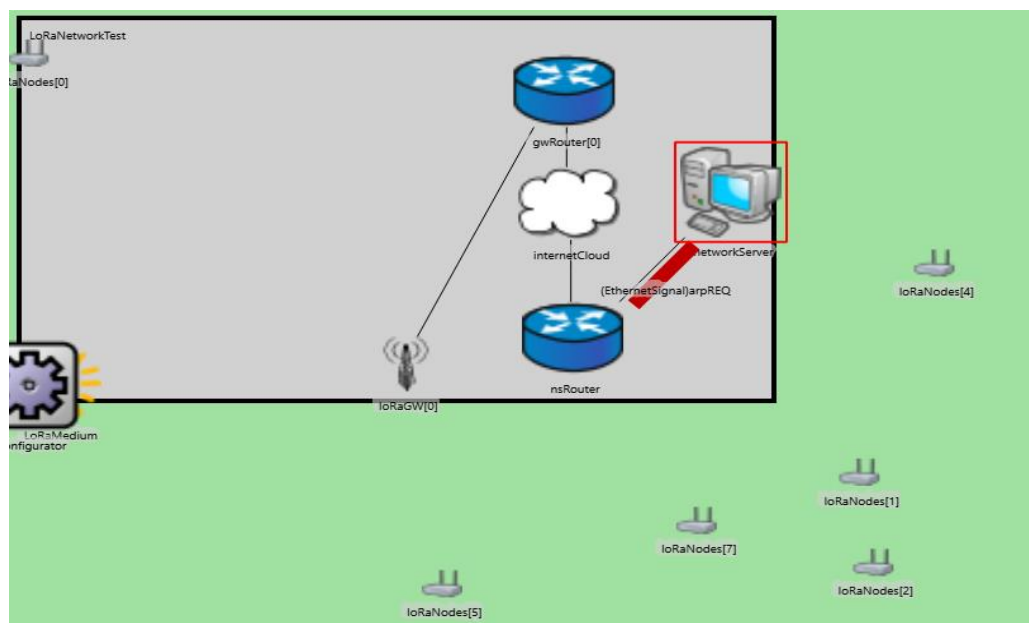


Figure 4.5- Chemin de transmission des informations entre Gateway et network Server.

Une fois les données parvenues au serveur du réseau LoRa, elles sont transmises aux autorités compétentes, comme les pompiers par exemple, via Internet sous forme de messages ou d'appels d'urgence.

Il est important de noter que le serveur réseau dans un réseau LoRa peut être mis en œuvre à l'aide de logiciels personnalisés ou de solutions prêtes à l'emploi, tels que des systèmes de gestion de réseau LoRa existants. Ces systèmes fournissent une interface permettant de configurer et de gérer le serveur réseau, ainsi que des fonctionnalités avancées telles que l'analyse des données, la visualisation des données en temps réel, la génération de rapports, etc.

En résumé, le serveur réseau dans un réseau LoRa joue un rôle central dans la réception, l'analyse et la prise de décision basées sur les données provenant des nœuds et des passerelles LoRa. Il assure la détection des fumées, la gestion des nœuds et des passerelles, ainsi que la communication bidirectionnelle avec les applications externes. Sa mise en œuvre peut se faire à l'aide de solutions logicielles dédiées pour les réseaux LoRa.


```

12 #Networkserver features
13 **.networkServer.numApps = 1
14 **.networkServer.**.evaluateADRinServer = true
15 **.networkServer.app[0].typename = "NetworkServerApp"
16 **.networkServer.app[0].destAddresses = "loRaGW[0]"
17 **.networkServer.app[0].destPort = 2000
18 **.networkServer.app[0].localPort = 1000
19 **.networkServer.app[0].adrMethod = ${"avg"}

```

Figure 4.6-Configurer les paramètres de serveur dans votre réseau LoRa.

Ces paramètres permettent de configurer les communications entre la Gateway LoRa et le serveur réseau dans un réseau LoRa, définissant les ports, les adresses et les fonctionnalités et il responsable de plusieurs tâches clés :

- Réception des données : Le serveur réseau écoute les transmissions provenant des passerelles LoRa. Il reçoit les paquets de données envoyés par les nœuds LoRa via les passerelles. Ces paquets contiennent des informations telles que les mesures de détection des fumées, les emplacements, les niveaux de batterie, etc.
- Détection des fumées : Une fois les données reçues, le serveur réseau effectue des opérations de traitement et d'analyse pour détecter la présence de fumée ou d'incendie. Cela peut impliquer l'application d'algorithmes spécifiques ou l'utilisation de modèles de détection pour identifier les signaux caractéristiques indiquant la présence de fumée.
- Communication bidirectionnelle : Le serveur réseau facilite la communication bidirectionnelle entre les nœuds et les applications ou services externes. Il permet aux applications de demander des données spécifiques aux nœuds et de leur envoyer des commandes ou des instructions.

Event#	Time	Relevant Hops	Name	TxUpdate? / Source	Length / Destination	Info / Protocol
[Partial history, 6466 earlier entries already discarded]						
#103	10.383 133 547 420	loRaGW[0] → gwRouter[0]	DataFrame	10.0.0.5:2000	10.0.0.9:1000	UDP
#109	10.383 134 245 420	gwRouter[0] → internetCloud	DataFrame	10.0.0.5:2000	10.0.0.9:1000	UDP
#138	10.393 135 231 420	internetCloud → nsRouter	DataFrame	10.0.0.5:2000	10.0.0.9:1000	UDP
#123	10.393 135 777 420	nsRouter → networkServer	DataFrame	10.0.0.5:2000	10.0.0.9:1000	UDP
#143	41.157 799 624 260	loRaNodes[6] → loRaNodes[0]	DataFrame			LoRa
#143	41.157 799 624 260	loRaNodes[6] → loRaNodes[1]	DataFrame			LoRa
#143	41.157 799 624 260	loRaNodes[6] → loRaNodes[2]	DataFrame			LoRa
#143	41.157 799 624 260	loRaNodes[6] → loRaNodes[3]	DataFrame			LoRa
#143	41.157 799 624 260	loRaNodes[6] → loRaNodes[4]	DataFrame			LoRa
#143	41.157 799 624 260	loRaNodes[6] → loRaNodes[5]	DataFrame			LoRa
#143	41.157 799 624 260	loRaNodes[6] → loRaNodes[7]	DataFrame			LoRa
#143	41.157 799 624 260	loRaNodes[6] → loRaGW[0]	DataFrame			LoRa
#164	42.424 833 659 800	loRaGW[0] → gwRouter[0]	DataFrame	10.0.0.5:2000	10.0.0.9:1000	UDP
#170	42.424 834 357 800	gwRouter[0] → internetCloud	DataFrame	10.0.0.5:2000	10.0.0.9:1000	UDP
#177	42.434 835 343 800	internetCloud → nsRouter	DataFrame	10.0.0.5:2000	10.0.0.9:1000	UDP
#182	42.434 835 889 800	nsRouter → networkServer	DataFrame	10.0.0.5:2000	10.0.0.9:1000	UDP

Figure 4.7- Résultat de chemin de transmission des informations.

3-Synthèse

L'architecture de réseau LoRa pour la détection des fumées repose sur l'utilisation de capteurs programmés pour détecter la température élevée résultant d'un incendie. Les capteurs envoient les données de température et de localisation de l'incendie à une Gateway LoRa.

La passerelle LoRa joue un rôle crucial dans le réseau, elle reçoit les données des capteurs et les transmet au serveur réseau LoRa. Elle peut être configurée avec des paramètres tels que la position spatiale et la puissance de transmission.

Le serveur réseau LoRa est le cœur du réseau, il reçoit les données de la passerelle LoRa et les analyse. Il peut évaluer l'ADR (Adaptive Data Rate) pour optimiser la communication en ajustant les paramètres de transmission. Le serveur réseau est également responsable de la prise de décisions basée sur les données reçues, telles que l'activation d'alertes en cas de détection d'incendie.

Les avantages de la technologie LoRa dans cette architecture sont nombreux. Tout d'abord, LoRa offre une longue portée de communication, ce qui permet aux capteurs de transmettre leurs données à distance jusqu'à la passerelle. Cela est particulièrement bénéfique dans les applications de détection des fumées qui nécessitent une couverture étendue, telle que la surveillance d'un grand bâtiment ou d'une zone géographique vaste.

En outre, LoRa est conçu pour une faible consommation d'énergie, ce qui permet aux capteurs de fonctionner sur batterie pendant de longues périodes sans nécessiter de remplacement fréquent des piles. Cela est essentiel dans le cas de la détection des fumées, où il est important d'avoir des capteurs autonomes et fiables.

Un autre avantage clé de LoRa est sa capacité à supporter un grand nombre de nœuds dans le réseau, ce qui permet une mise à l'échelle facile de l'architecture pour couvrir de vastes zones ou plusieurs bâtiments. Cela fait de LoRa une technologie adaptée aux déploiements de détection des fumées à grande échelle.

En résumé, l'architecture de réseau LoRa pour la détection des fumées exploite les avantages de la longue portée, de la faible consommation d'énergie et de la

capacité de mise à l'échelle de LoRa. Elle permet la collecte efficace des données de température et de localisation des incendies, offrant ainsi une solution fiable et rentable pour la détection précoce des incendies.

Conclusion

La première partie de ce dernier chapitre se concentre sur les outils utilisés pour réaliser le mémoire. Il explique pourquoi OMNET++ a été choisi comme outil de développement, en mettant en avant sa flexibilité et sa capacité à modéliser différents types de réseaux. OMNET++ offre un ensemble d'outils et de fonctionnalités pour simuler et analyser le comportement d'un réseau.

La deuxième partie du chapitre se concentre sur la mise en pratique du mémoire et présente des exemples des résultats obtenus. Cela inclut l'exécution de simulations avec l'architecture réseau mise en place et l'analyse des performances du réseau en termes de détection des fumées.

En présentant ces exemples de résultats, il est possible de démontrer l'efficacité de l'architecture réseau basée sur LoRa pour la détection des fumées. Cela met en évidence les avantages de l'utilisation de la technologie LoRa dans les applications de détection d'incendie, tels que la longue portée de communication et la faible consommation d'énergie.

En résumé, cette partie du chapitre fournit une présentation détaillée des outils utilisés pour réaliser le mémoire, justifie le choix de ces outils et présente des exemples concrets des résultats obtenus. Cela renforce la crédibilité du mémoire et permet de mieux comprendre les performances de l'architecture réseau dans le contexte de la détection des fumées.

Dans ce qui suit nous concluons ce manuscrit.

Conclusion générale & Perspectives

1. Conclusion générale

L'objectif de ce mémoire, nous visons à développer les usages de la technologie LoRa dans l'Internet des Objets et à mettre en œuvre l'exemple que nous avons mis en pratique en créant une structure réseau basée sur LoRa pour la détection rapide d'incendie.

En général, une architecture réseau basée sur LoRa permet la détection d'incendie en utilisant des nœuds LoRa qui envoient des données à une passerelle LoRa, qui les transmet ensuite à un serveur réseau pour traitement et prise de décision. L'utilisation de la technologie LoRa offre une longue portée de communication ce qui est essentiel pour couvrir de vastes zones et assurer une couverture étendue pour la détection d'incendie. et une faible consommation d'énergie ce qui est important pour les applications de détection d'incendie qui nécessitent un fonctionnement continu et de longue durée, ce qui est bénéfique pour les applications de détection à grande échelle telles que la détection d'incendie.

Pour implémenter notre scénario, nous avons utilisé le langage NED dans OMNeT++ qui à son tour utilise c++.

Enfin, dans la partie implémentation, nous avons présenté quelques interfaces graphiques qui expliquent comment travailler avec OMNeT++ dans un environnement IoT et utiliser Lora, ainsi que les résultats que nous avons

obtenus. et nous avons détaillé toutes les étapes par lesquelles nous sommes passées pour arriver au résultat attendu.

En conclusion, l'utilisation de la technologie LoRa dans une architecture réseau dédiée à la détection d'incendie offre une solution efficace, économe en énergie et capable de couvrir de vastes zones. Cela contribue à améliorer la sécurité incendie et à réduire les risques potentiels en permettant une détection précoce des incendies.

2. Perspectives

Notre objectif principal étant d'élargir les horizons des utilisations de LoRa, en particulier dans l'Internet des objets, nous nous sommes concentrés sur une explication approfondie de la technologie LoRa et mis en évidence ses avantages. Nous comptons développer notre idée pour profiter de ses atouts et la concrétiser sur le terrain.

Références Bibliographiques

-
- [1] : <https://aruco.com/2014/08/infographie-internet-objets/>
- [2] : https://mite.ac.in/wp-content/uploads/2021/04/iot_module1.pdf
- [3]: <http://dspace.univtebessa.dz:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/1755/>
- [4] : <http://dspace.univtebessa.dz:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/1755/>
- [5]: <https://www.m2mology.com/iot-transformation/iot-world-forum/>
- [7]: ww.happiestminds.com/whitepapers/An-Introduction-to-M2M-IoT-Protocols
[https.pdf](https://www.happiestminds.com/whitepapers/An-Introduction-to-M2M-IoT-Protocols)
- [8]: <https://www.techtarget.com/iotagenda/definition/Z-Wave>
- [9]: <https://www.techtarget.com/iotagenda/definition/ZigBee>
- [10]: <https://www.numerama.com/tech/1150564-que-signifie-nfc.html>
- [11]: <https://www.cisco.com/c/en/us/products/switches/what-is-a-lan-local-area-network.html>
- [12]: <https://www.techtarget.com/searchnetworking/definition/Ethernet>
- [13]: https://en.wikipedia.org/wiki/Token_Ring
- [14]: https://fr.wikipedia.org/wiki/Fiber_Distributed_Data_Interface
- [15]: <https://www.funix.org/fr/reseau/wan/x25.htm>
- [16]: <https://www.futura-sciences.com/tech/definitions/tech-rnis-1299/>

- [17]: <https://blog.engineering.publicissapient.fr/2018/04/16/internet-des-objets-quels-protocoles-applicatifs-utiliser->
- [18]: <https://www.spiceworks.com/tech/networking/articles/tcp-vs-udp/>
- [19]: https://en.wikipedia.org/wiki/Internet_Protocol_version_4
- [20]: <http://www.opjstamnar.com/download/Worksheet/Day-110/IP-XI.pdf>
- [21]: https://www.researchgate.net/figure/LoRa-network-architecture_fig1
- [22]: <https://docs.aws.amazon.com/iot/latest/developerguide/connect-iot-lorawan-what-is-lorawan.html>
- [23]: <https://www.ebds.eu/ressources/contenus-techniques/technologie-lorawan>
- [24]: <https://docs.lora.tetaneutral.net/lorawan/crypto/>
- [25]: <https://hal.science/tel-03283203/document>
- [26]: <https://www.semtech.com/lora/what-is-lora>
- [27]: <https://www.mokolora.com/fr/lorawan-applications/>
- [28]: <https://ijarsct.co.in/Paper741.pdf>
- [29]: <https://www.mokolora.com/fr/what-is-loraiot>
- [30]: <https://www.webdyn.com/fr/articles-radio/les-3-avantages-de-lora/>
- [31]: <fr/s-informer/actualites-iot-m2m/reseaux-lpwa-sommes>
- [32]: <iot/extended-coverage-gsm-internet-of-things-ec-gsm-iot>
- [33]: <http://www.frugalprototype.com/nb-iot-lte-m-ec-gsm-iot-lpwan/>
- [34]: <https://hal.science/tel-03283203/document>
- [35]: <technology/difference-between-nb-iot-and-lora/>
- [36]: <https://www.objetconnecte.com/ldt-integre-lora/>
- [37]: <https://doc.omnetpp.org/omnetpp/InstallGuide.pdf>
- [38]: <https://omnetpp.org/download-items/FLoRA.html>
- [39]: Khan, Samiya, Kashish Ara Shakil, and Mansaf Alam. Internet of Things (IoT): Concepts and Applications. Springer, 2020.

- [40]: Linnenbank, George RJ. A power dissipation comparison of the R-TDMA and the Slotted-Aloha wireless MAC protocols. Moby Dick technical report
- [41]: LORA Technology Basics and Applications, Dr. R. Harini, Academic Consultant, Department of Electronics, Sri Krishn Advara University, Anantapur, AP, India
- [42]: Augustin, Aloÿs, et al. "A study of LoRa: Long range & low power networks for the internet of things." *Sensors* 16.9 (2016): 1466.
- [43]: LoRa for the Internet of Things, Martin Boor and John Vidler and Utz Roedig Department of Computing and Communications Lancaster University
- [44]: LoRa and LoRa WAN: A Technical Overview, SimTech Corporation February 11, 2020
- [45]: FRANTZEN, Thomas, Lyes KHOUKHI, and Wael Souleiman." Localisation de dispositifs avec LoRa"
- [46]: lora-developers.semtech.com/uploads/documents/files/LoRa_and_LoRaWAN-A_Tech_Overview-Downloadable.pdf
- [47]: Boor, Martin, John Edward Vidler, and Utz Roedig. "LoRa for the Internet of Things." (2016): 361-366.
- [48]: Augustin, A., Yi, J., Clausen, T., & Townsley, W. M. (2016). A study of LoRa: Long range & low power networks for the internet of things. *Sensors*, 16(9), 1466.
- [49]: Usmonov, M., & Georgetta, F. (2017, December). Design and implementation of a LoRa based wireless control for drip irrigation systems. In 2017 2nd International Conference on Robotics and Automation Engineering (ICRAE) (pp. 248-253). IEEE
- [50]: Hossein Motlagh, N., Mohammadreza, M., Hunt, J., & Zakeri, B. (2020). Internet of Things (IoT) and the energy sector. *Energies*, 13(2), 494.
- [51]: Idris, S., Gunathilake, T., & Förster, A. (2022). Survey and comparative study of LoRa-enabled simulators for internet of things and wireless sensor networks. *Sensors*, 22(15), 5546

- [52]:** Singh, D. K., Sobti, R., Jain, A., Malik, P. K., & Le, D. N. (2022). LoRa based intelligent soil and weather condition monitoring with internet of things for precision agriculture in smart cities. *IET Communications*, 16(5), 604-618.
- [53]:** Ahmad, Z., Hashim, S. J., Ferré, G., Rouhani, F. Z., Al-Haddad, S. A. R., & Sali, A. (2023). LoRa and Rotating Polarization Wave: Physical Layer Principles and Performance Evaluation. *IEEE Access*, 11, 14892-14905.