



République Algérienne Démocratique et Populaire



Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université AMO de Bouira

Faculté des Sciences et des Sciences Appliquées

Mémoire de Master

Présenté au

Département : Génie Électrique

Domaine : Sciences et Technologies

Filière : Electronique

Spécialité : Electronique des systèmes embarqués

Réalisé par :

Talay Ikram Hanane

Et

Tahraoui Ikram Djihad

Thème

*Réalisation d'un nœud de mesure autonome pour réseau
de capteur sans fils*

Soutenu le : 03/07/2024

Devant le Jury composé de :

Mr.Haroun.S

Univ. Bouira

Encadreur

Mr.REZKI Mohamed

Univ. Bouira

Président

Mr.BENAOUICHA Karim

Univ. Bouira

Examineur

Année Universitaire : 2023-2024

Remercîments

*Tout d'abord, Nous tenons à remercier
DIEU le miséricordieux de nous avoir
donné la force et le courage pour réaliser
notre projet et d'atteindre notre objectif.
Nous aimerons ensuite remercier toutes les
personnes ayant contribué au bon
déroulement de notre travail, tout au
niveau humain qu'au niveau scientifique.
Nous citons en particulier notre encadreur
Mr. Haroun.S, on a pu bénéficier à la fois
de sa grande disponibilité, sa patience et
ses encouragements qui nous ont permis de
travailler dans bonnes conditions.*

Dédicaces

Je remercie Allah seul pour m'avoir permis d'achever ce travail. Je tiens à dédier ce travail à :

Ma très chère mère, qui a toujours été présente pour moi, surtout dans les moments les plus difficiles, et qui veille constamment sur moi par ses prières, pour ses nombreux sacrifices et tout l'amour qu'elle me porte.

Mon très cher père, pour ses conseils précieux, sa confiance inébranlable en moi et son dévouement pour mon bonheur. Que Dieu le garde.

Mes chers frères : Abderahim et Aissa.

Mon fiancé : Islam.

Mon binôme Tahraoui Ikram et toute sa famille.

Toute la famille : Talay.

Toutes mes amies, en particulier Roumaïssa et Hania, ainsi que toutes mes cousines.

Tous mes enseignants.

Toute la promotion d'Électronique des Systèmes Embarqués.

À tous ceux qui m'aiment et que j'aime.

Talay Ikram

Dédicaces

C'est grâce à Allah seul que j'ai pu achever ce travail. Je souhaite le dédier à :

Ma très chère mère, qui a toujours été là pour moi dans les moments les plus difficiles, veillant constamment sur moi par ses prières, pour ses sacrifices et l'amour infini qu'elle me porte.

Mon très cher père, pour ses précieux conseils, sa confiance en moi et son dévouement pour mon bonheur. Que Dieu le garde.

Mes chères sœurs : Chaima, Basma et Miral, ainsi que mon frère Sohaib.

Mon binôme Talay Ikram et toute sa famille.

Toute la famille : Tahraoui.

Toutes mes amies, en particulier Meriem, ainsi que toutes mes cousines.

Tous mes enseignants.

Toute la promotion d'Électronique des Systèmes Embarqués.

À tous ceux qui m'aiment et que j'aime.

Tahraoui Ikram

Résumé :

Le réseau de capteurs sans fil est l'une des dix nouvelles technologies qui bouleverseront le monde et notre manière de travailler et de vivre. Le système se compose d'un nœud récepteur utilisant Arduino Uno comme unité centrale, assurant la réception des données via LoRa provenant des nœuds émetteurs, et commandant les dispositifs de sortie tels que des LED et un Buzzer pour signaler les événements détectés. Le module LoRa SX1278 permet une communication à longue portée avec les nœuds émetteurs. Chaque nœud émetteur, positionné stratégiquement dans la forêt à surveiller, utilise également un module LoRa SX1278 pour transmettre périodiquement les données de capteur du DHT11 (température et humidité locales) ainsi que les alertes du détecteur de flamme au nœud récepteur. Ce système permet une surveillance proactive des conditions environnementales critiques, assurant une détection précoce des incendies et facilitant une intervention rapide et efficace en cas de besoin, contribuant ainsi à la sécurité et à la gestion optimisée des risques dans les zones forestières.

Mots clés : Nœuds de capteurs, réseaux de capteurs sans fil, LoRa SX1278, Arduino Uno

Abstract :

The wireless sensor network is one of ten new technologies that will change the world and the way we work and live. The system consists of a receiver node using Arduino Uno as the central unit, receiving data via LoRa from the transmitter nodes, and controlling output devices such as LEDs and Buzzer to report detected events. The SX1278 LoRa module enables long-range communication with transmitter nodes. Each transmitter node, strategically positioned in the forest to be monitored, also uses an SX1278 LoRa module to periodically transmit sensor data from the DHT11 (local temperature and humidity) as well as flame detector alerts to the receiver node. This system enables proactive monitoring of critical environmental conditions, ensuring early detection of fires and facilitating rapid and effective intervention when necessary, thereby contributing to safety and optimized risk management in forest areas.

Keywords: Sensor Nodes, Wireless Sensor Networks, LoRa SX1278, Arduino Uno

Table des matières

Remercîments.....	I	
Dédicaces	II	
Dédicaces	III	
Liste des figures	VII	
Liste des tableaux	VIII	
Liste des Acronymes	IX	
Introduction Générale.....	1	
Introduction générale	1	
Chapitre I	Les réseaux de capteurs sans fils	3
1. Introduction.....	3	
2. Définition et composants d'un réseau de capteurs sans fil	3	
3. Classification des RCSF	4	
3.1. Bluetooth.....	4	
3.2. Wifi.....	5	
3.3. ZigBee.....	5	
3.4. LoRa	5	
4. Principe de fonctionnement d'un réseau de capteur sans fil.....	5	
5. Applications et domaines d'utilisation	6	
5.1. Applications militaires.....	6	
5.2. Applications médicales.....	7	
5.3. Applications environnementales	8	
5.4. La domotique	9	
5.5. Applications industrielles et commerciales	10	
5.6. La surveillance de l'habitat écologique	10	
6. Caractéristique des RCSF	11	
7. Architecture d'un nœud de capteurs.....	12	
8. Architecture logicielle d'un nœud de capteur (la Pile protocolaire)	14	
9. Avantages et inconvénient des RSCF.....	16	
9.1. Avantages.....	16	
9.2. Inconvénients	16	
10. Etat de l'art.....	17	
11. Conclusion	18	
Chapitre II	Présentation de la méthodologie	19

1.	Introduction.....	19
2.	Schéma générale du système.....	19
3.	Fonctionnement de système.....	20
4.	Unité de traitement : Carte Ardouino Uno.....	21
5.	Module de communication sans fil Lora XL 1278	22
5.1.	Brochage du module SX1278	23
6.	Capteur de température et d'humidité	24
7.	Capteur détecteur de flamme	24
8.	Alimentation.....	26
9.	Conception du schéma électronique.....	26
9.1.	Schéma d'émetteur	26
9.2.	Schéma de récepteur.....	28
10.	Conclusion	29
Chapitre III Implémentation de l'application.....		30
1.	Introduction.....	30
2.	Implémentation de l'application.....	30
2.	Programmation.....	31
2.1.	Fonctionnement de l'émetteur.....	31
2.1.1.	Nœud 1 (La détection de flamme).....	31
3.1.2.	Nœud 2 (la surveillance de température et d'humidité).....	34
3.2.	Fonctionnement de récepteur.....	36
4.	Réalisation pratique	39
4.1.	Résultat avant la détection de flamme	39
4.1.1.	Les résultats obtenus sur le moniteur série.....	41
4.2.	Résultat après la détection de la flamme	43
4.2.1.	Les résultats obtenus sur le moniteur série.....	44
5.	Conclusion	45
Conclusion générale		46
Bibliographie		48
Annexes		50

Liste des figures

Figure I 1: Architecture d'un réseau de capteurs sans fil.....	4
Figure I 2 : Application des RCSF dans le domaine militaire	7
Figure I 3: Application des RCSF dans le domaine médical.....	8
Figure I 4: Exemple d'applications environnementales	9
Figure I 5: Exemple d'application des RCSF dans la domotique	10
Figure I 6: Quelques domaines d'applications des réseaux de capteurs sans fil	11
Figure I 7: Architecture d'un nœud capteur.	13
Figure I 8: La pile protocolaire.	15
Figure II 1 : Schéma générale du système.....	20
Figure II 2: Carte Ardouino Uno.....	21
Figure II 3 : Module Lora SX1278	22
Figure II 4 : Brochage de LoRa SX1278.....	23
Figure II 5: Capteur DHT11	24
Figure II 6 : Capteur détecteur de flamme.....	25
Figure II 7: Power Bank	26
Figure II 8 Schéma d'émetteur (nœud 1)	27
Figure II 9: Schéma d'émetteur (nœud 2)	28
Figure II 10 : Schéma récepteur.....	28
Figure III 1 : Organigramme d'émetteur (nœud 1).....	33
Figure III 2 : Organigramme d'émetteur (nœud 2).....	35
Figure III 3 : Organigramme récepteur	38
Figure III 4 : Circuit de la réception.....	39
Figure III 5: Circuit émetteur (Nœud 1).....	40
Figure III 6: Circuit d'émetteur (Nœud 2).....	40
Figure III 7: Circuit des 3 nœuds	41
Figure III 8 : La détection de flamme sur le port de l'émetteur (Nœud 1).....	41
Figure III 9: La température et l'humidité sur le port de l'émetteur (nœud 2).....	42
Figure III 10: Les données transmises au port de réception.	43
Figure III 11: La réception après la détection de flamme	43
Figure III 12: La détection de flamme sur le port de l'émetteur (Nœud 1).....	44
Figure III 14 : Les données transmises au port de réception.	45

Liste des tableaux

Tableau II 1 : Caractéristique de la carte Ardouino Uno.....	22
Tableau II 2 : SX1278 Pin out	23
Tableau II 3 : Caractéristique de capteur de flamme	25

Liste des Acronymes

ADC : Un convertisseur analogique-numérique

ASIC : Application Specific Integrated Circuits

CEPT :(Conférence Européenne des Postes et Télécommunications)

DSP : Digital Signal Processors

FPGA Field Programmable Gate Arrays

FCC: Federal Communications Commission

IEEE: Institute of Electrical and Electronics Engineers

L'ETSI: European Télécommunications Standards Institute

LPWA: Low Power, Wide Area

MAC : (Media Access Control)

OSI : Open Systems Interconnection

RCSF : réseaux de capteurs sans fils

WSN: Wireless Sensor Network

WPAN: Wireless Personal Area Network

Introduction Générale

Introduction générale

Les avancées combinées dans la microélectronique et les technologies de communication sans fil ont rendu possible la réalisation de capteurs de communication extrêmement économes en énergie à des coûts abordables. Ces petits dispositifs électroniques sont conçus pour surveiller des environnements difficiles en collectant diverses données physiques telles que la luminosité, le mouvement, la température et la pression atmosphérique, et éventuellement les traiter. Ils doivent être autonomes, de taille microscopique et déployables de manière dense et aléatoire dans la zone de surveillance.

Ces dispositifs sont souvent appelés « nœuds de capteurs » et peuvent être répartis au sol, dans les véhicules, dans les bâtiments et même sur le corps humain.

Comme ils peuvent être connectés sans être reliés physiquement, ils constituent un réseau de senseurs sans fil (WSN : Wireless Sensor Network).

Ce mémoire propose la création d'un réseau de capteurs sans fil conçu pour collecter et analyser des données environnementales telles que la température, dans le but spécifique de détecter les incendies de forêt. Ce projet vise à fournir des données précises en temps réel pour améliorer la surveillance des incendies de forêt.

Le système se compose d'un nœud récepteur utilisant un Arduino comme unité centrale, assurant la réception des données transmises par le nœud capteur via LoRa. Le nœud récepteur contrôle également les dispositifs de sortie tels que les LED et les buzzers pour signaler les événements détectés tels que les alarmes incendie. Chaque nœud émetteur est stratégiquement situé dans la forêt et communique avec le nœud récepteur via un module LoRa. Ces nœuds émetteurs transmettent régulièrement les données des capteurs ainsi que les alertes de détection de flammes, permettant une surveillance proactive des conditions environnementales critiques. Ce manuscrit est organisé en trois chapitres suivis d'une conclusion générale :

Le premier chapitre présente les réseaux de capteurs sans fil. C'est en ce sens que nous tenterons d'identifier le rôle de plusieurs types de réseaux, les concepts de base et de passer en revue leurs principales caractéristiques, les différents domaines d'application et la composition des différents éléments du RCSF.

Le second chapitre. Nous avons identifié la structure et le fonctionnement du système puis identifié les différents éléments qui composent le système, justifiant le choix de chaque élément pour faciliter la création de notre système.

Le troisième chapitre est structuré comme suit : Un aperçu général des incendies de forêts, une explication du but de notre travail, une présentation des différentes plateformes logicielles que nous avons utilisées lors de notre travail et une discussion sur le cœur de notre mémoire, à savoir la mise en œuvre de l'application

Chapitre I
Les réseaux de capteurs sans
fil

1. Introduction

Selon l'ingénieur électronique, un capteur est un appareil qui collecte des données sur un processus ou un phénomène physique et les convertit en signaux électriques qui peuvent être traités, mesurés et décrits [1].

Dans la définition du capteur mentionnée précédemment, le concept de processus physique peut être utilisé pour décrire toutes les informations du monde réel, telles que la température, la pression, la lumière, le son, le mouvement, la position, le débit, l'humidité, le rayonnement, etc.

L'ensemble des capteurs, unités de calcul et éléments de communication forment un réseau de capteurs conçu pour enregistrer, observer et réagir à des événements ou phénomènes.

Le monde physique, l'environnement industriel, le système biologique ou le cadre informatique peuvent être l'élément lié à l'événement, et le sujet de contrôle ou d'observation peut être une application grand public, une entité gouvernementale, civile, militaire ou industrielle.

Les gens peuvent utiliser ces réseaux de capteurs pour la télédétection, la télémétrie médicale, la surveillance, le contrôle, la collecte de données, etc. [1].

L'objet de ce premier chapitre est d'introduire les réseaux de capteurs sans fil (RCSF). C'est dans ce sens que nous tenterons d'identifier le rôle et la composition de chaque élément d'un RCSF.

2. Définition et composants d'un réseau de capteurs sans fil

Un réseau de capteurs classique est constitué de capteurs, d'un contrôleur et d'un système de communication. En utilisant un protocole sans fil pour la communication d'un réseau de capteurs, on parle alors de réseaux de capteurs sans fil ou *wireless sensor network* en anglais (WSN) [2].

Un réseau de capteurs sans fil (WSN) est constitué de capteurs spécialisés positionnés à divers endroits stratégiques pour enregistrer et surveiller différents paramètres environnementaux physiques. Les données collectées sont ensuite centralisées et organisées. Ces paramètres incluent, mais ne se limitent pas à, la température, la pression atmosphérique, la vitesse du vent, l'humidité, et d'autres facteurs encore [3].

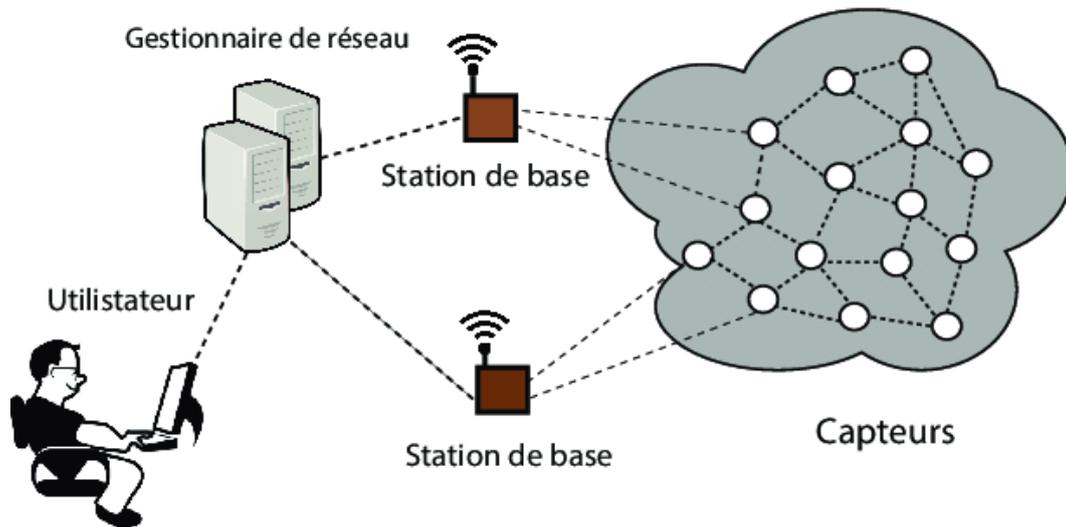


Figure I 1: Architecture d'un réseau de capteurs sans fil.

3. Classification des RCSF

Différentes catégories de réseaux sans fil peuvent être distinguées en fonction du périmètre géographique où ils sont connectés. (Appelée zone de couverture). La normalisation des réseaux et les bandes de fréquences attribuées aux réseaux sans fil sont gérées par deux organismes principaux.

L'organisme américain **IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers)** est un centre affilié à la FCC, tandis que l'**ETSI (European Télécommunications Standards Institute)** est un organisme européen. Après la création des normes, des commissions répartissent ces fréquences aux utilisateurs en fonction de la taille du réseau établi.

L'organisme Européen — **CEPT** : l'organisme européen À l'échelle européenne, pour les mêmes types de réseaux, la **CEPT (Conférence Européenne des Postes et Télécommunications)** établit ainsi les fréquences [4].

3.1. Bluetooth

La technologie principale pour les réseaux personnels sans fil (WPAN) est le Bluetooth, introduit par Ericsson en 1994, avec une vitesse théorique de 1 Mbps et une portée maximale d'environ trente mètres. Bien que largement commercialisée sous la norme IEEE 802.15.1, le Bluetooth est peu utilisé dans les réseaux de capteurs sans fil à cause de sa consommation énergétique élevée. [4].

3.2. Wifi

Le WiFi, également connu sous le nom d'IEEE 802.11 et soutenu par l'alliance WECA (Wireless Ethernet Compatibility Alliance), propose des débits pouvant atteindre 54 Mbps sur des distances de plusieurs centaines de mètres [4].

3.3. ZigBee

La technologie ZigBee, également connue sous le nom IEEE 802.15.4, offre des connexions sans fil à très bas coût et avec une consommation d'énergie extrêmement réduite, ce qui la rend idéale pour l'intégration directe dans de petits appareils électroniques tels que les électroménagers, les équipements audio, les jouets, etc. Fonctionnant sur la bande de fréquences des 2,4 GHz avec 16 canaux, ZigBee peut atteindre des débits allant jusqu'à 250 Kb/s et une portée maximale d'environ 100 mètres [4].

3.4. LoRa

Ce réseau, basé sur la technologie LoRa, permet la connexion de millions d'objets grâce à une communication radio longue portée et à basse consommation (LPWA : Low Power, Wide Area). LoRa est le seul standard international ouvert qui supporte des fonctionnalités telles que la géolocalisation des objets sans GPS, le partage (permettant à un objet de communiquer avec plusieurs réseaux LoRa sur un même territoire) et le roaming à l'échelle internationale.

Bouygues Telecom, en tant que membre fondateur de l'Alliance LoRa aux côtés de Sagemcom, joue un rôle actif dans le déploiement de LoRa à l'échelle mondiale. L'Alliance LoRa, composée de 127 membres et présente sur les cinq continents, vise à promouvoir la technologie LoRa et à en faire un standard mondial.

Ce réseau facilite l'émergence de nouveaux services tels que la gestion intelligente des ressources, la maintenance prédictive, le suivi des approvisionnements et des stocks, la localisation des objets et des animaux domestiques, ainsi que le suivi médical des personnes, entre autres applications [4].

4. Principe de fonctionnement d'un réseau de capteur sans fil

Les informations collectées par les nœuds sont transmises à un nœud, qui est considéré comme un « Point de collecte », appelé nœud-puits. Il est possible de le relier à l'utilisateur du réseau (par Internet, satellite ou un autre moyen). L'utilisateur a la possibilité d'envoyer des demandes aux autres nœuds du réseau, en spécifiant le type de données nécessaires et de collecter les informations environnementales collectées par le nœud puits. Les avancées réalisées en collaboration entre la micro-électronique, la microtechnique, les

technologies de transmission sans fil et les applications logicielles ont permis de fabriquer des micro-capteurs de volume de quelques millimètres cubes qui peuvent être utilisés en réseau. Ils intègrent :

- Une unité de captage chargée de capter des grandeurs physiques (chaleur, humidité, vibrations, rayonnement...) et de les transformer en grandeurs numériques.
- une unité de traitement informatique et de stockage de données et un module de transmission sans fil (WIRELESS).

Ainsi, ces micro-capteurs représentent de véritables systèmes embarqués. Lorsqu'ils sont déployés en nombre pour collecter et transmettre de manière autonome des données environnementales vers un ou plusieurs points de collecte, ils forment un réseau de capteurs sans fil (Wireless Sensor Network - WSN) [5].

5. Applications et domaines d'utilisation

Grace aux évolutions de la technologie touchant les domaines : électronique, informatique industrielle, instrumentation, réseaux et télécommunication, le champ d'applications des réseaux de capteurs sans fils est de plus en plus en élargissement.

La miniaturisation, le faible coût et l'absence de câblage sont quelques-unes des caractéristiques clés des réseaux de capteurs qui ont permis à cette nouvelle génération de technologies de se déployer dans divers domaines d'application. Parmi ceux-ci, on trouve des secteurs tels que la défense militaire, l'environnement, la santé, l'écologie, les maisons intelligentes, et bien d'autres encore, où le déploiement des réseaux de capteurs sans fil joue un rôle crucial [4].

Parmi les applications des RCSF nous trouvons :

5.1. Applications militaires

- Surveillance du champ de bataille
- Munitions et forces amis
- De forces ennemies
- Détection et reconnaissance des attaques nucléaires, biologiques ou chimiques, ...
- Estimation des dommages
- Surveillance des équipements et des munitions

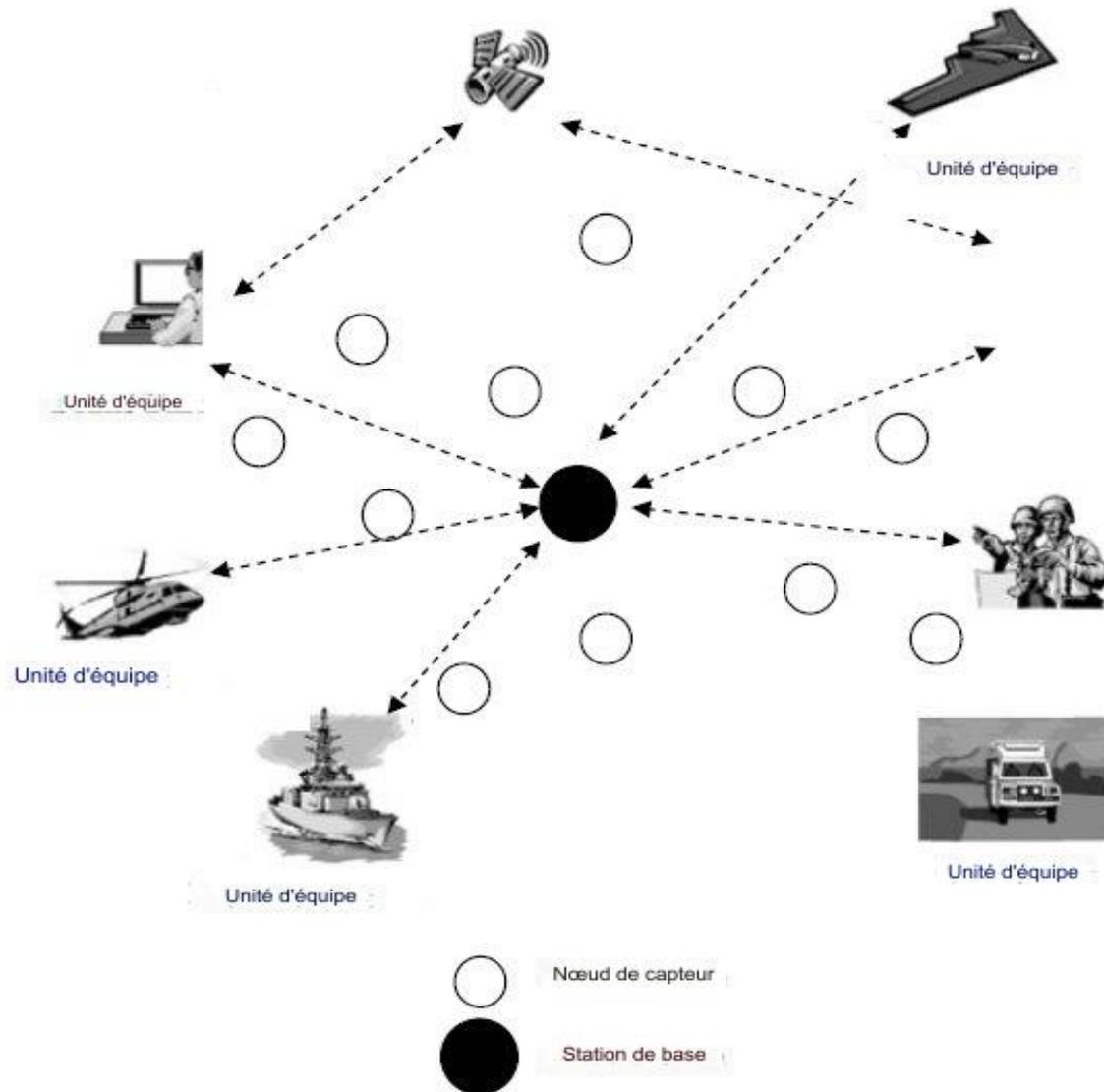


Figure I 2 : Application des RCSF dans le domaine militaire

5.2. Applications médicales

Les réseaux de capteurs sans fil ont été intégrés dans le domaine médical pour permettre une surveillance continue des patients. Des micro-capteurs peuvent être ingérés ou implantés sous la peau afin de surveiller des paramètres tels que la glycémie et la tension artérielle.

Ces capteurs peuvent également faciliter le diagnostic de diverses maladies, comme la détection du cancer ou le suivi du rythme cardiaque, entre autres applications médicales.

En outre, les capteurs peuvent détecter des comportements anormaux chez les personnes handicapées ou âgées, comme les chutes, les chocs ou les cris, offrant ainsi un niveau supplémentaire de surveillance et de sécurité [6].

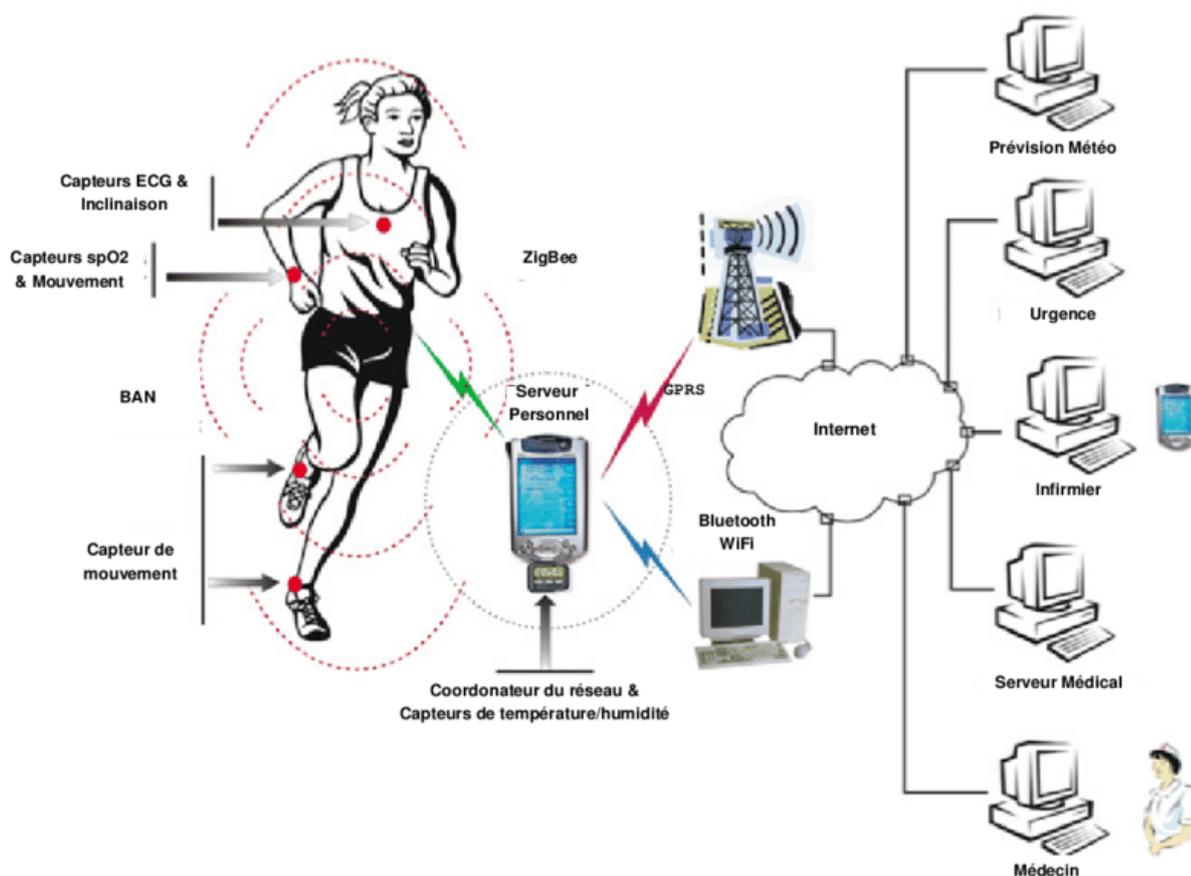


Figure I 3: Application des RCSF dans le domaine médical

5.3. Applications environnementales

- Forêt : des milliers de nœuds de capteurs peuvent être déployés de manière aléatoire ou stratégique. En travaillant en collaboration, les nœuds de capteurs sont capables de détecter la source d'un incendie avant qu'il ne se propage et de la transmettre à l'utilisateur.
- Détection des inondations : Un exemple concret est le système d'alerte précoce déployé aux États-Unis, où différents types de capteurs (capteurs de précipitations, de niveaux d'eau et météorologiques) transmettent des données à une base de données centralisée.
- Agriculture : Des capteurs pourraient être installés au sol pour identifier les zones les plus sèches afin de prioriser l'arrosage.
- Autres applications : suivi des déplacements des oiseaux, petits animaux, insectes, surveillance de l'environnement, surveillance du milieu marin, de l'atmosphère, etc. [7].

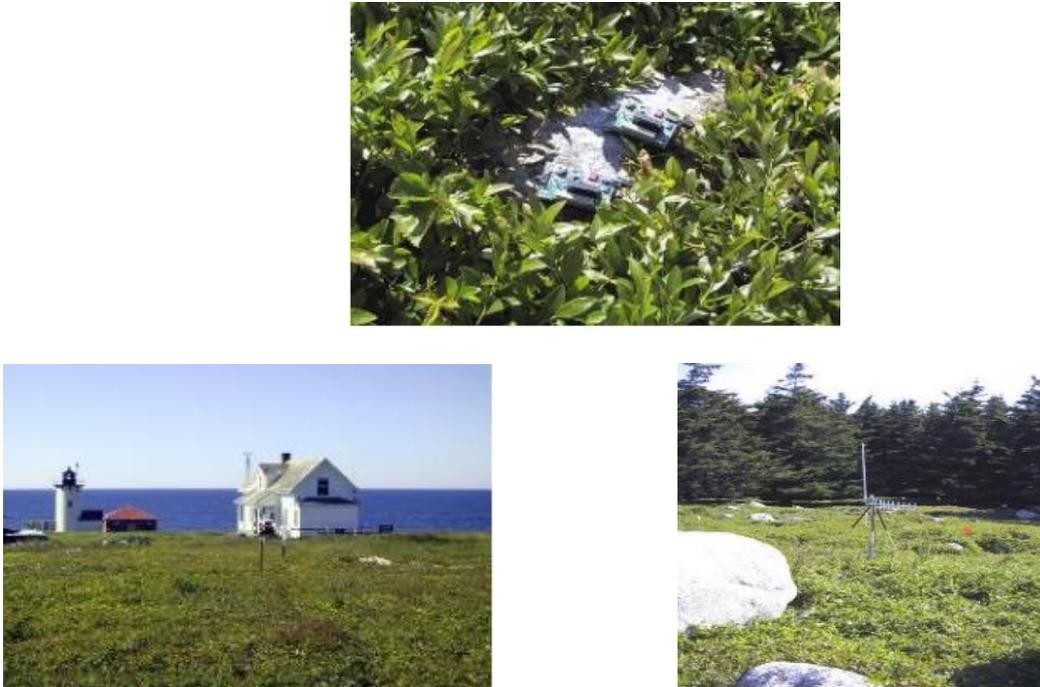


Figure I 4: Exemple d'applications environnementales

5.4. La domotique

À mesure que la technologie progresse, des capteurs peuvent être intégrés aux aspirateurs, aux micro-ondes, aux réfrigérateurs, aux magnétoscopes et à d'autres appareils. Ces micro capteurs permettent aux utilisateurs de contrôler facilement ces appareils domestiques localement ou à distance via un réseau externe. Grâce aux progrès de l'informatique ambiante, un nouveau paradigme de la domotique, la maison intelligente, a émergé ces dernières années. Placer des capteurs de mouvement et de température sur les murs et les plafonds peut automatiser plusieurs tâches utilisateur, telles que le contrôle de l'éclairage et de la climatisation en fonction des mouvements des personnes. Il peut également être déployé pour créer un système de sécurité qui vous alertera en cas d'intrus [8].



Figure I 5: Exemple d'application des RCSF dans la domotique

5.5. Applications industrielles et commerciales

RCSF est également utilisé [9] :

- Surveillance du matériel
- Gestion des stocks
- Suivi des produits
- Contrôle environnemental des bâtiments et bureaux
- Transport
- Commande locale des actionneurs
- Détection et suivi des vols de voitures
- Suivi des véhicules.

5.6. La surveillance de l'habitat écologique

La surveillance de l'habitat écologique, incluant les animaux, les végétaux et les micro-organismes, est généralement menée par des chercheurs sur le terrain. Cependant, les impacts potentiels de la présence humaine sur ces environnements suscitent de plus en plus d'inquiétudes parmi les biologistes. Les perturbations chroniques causées par l'activité humaine peuvent altérer les comportements ou les distributions des organismes étudiés, et les perturbations anthropiques peuvent sérieusement affecter les populations sensibles en

augmentant le stress, réduisant le succès de reproduction, favorisant la prédation, et ainsi de suite [4].

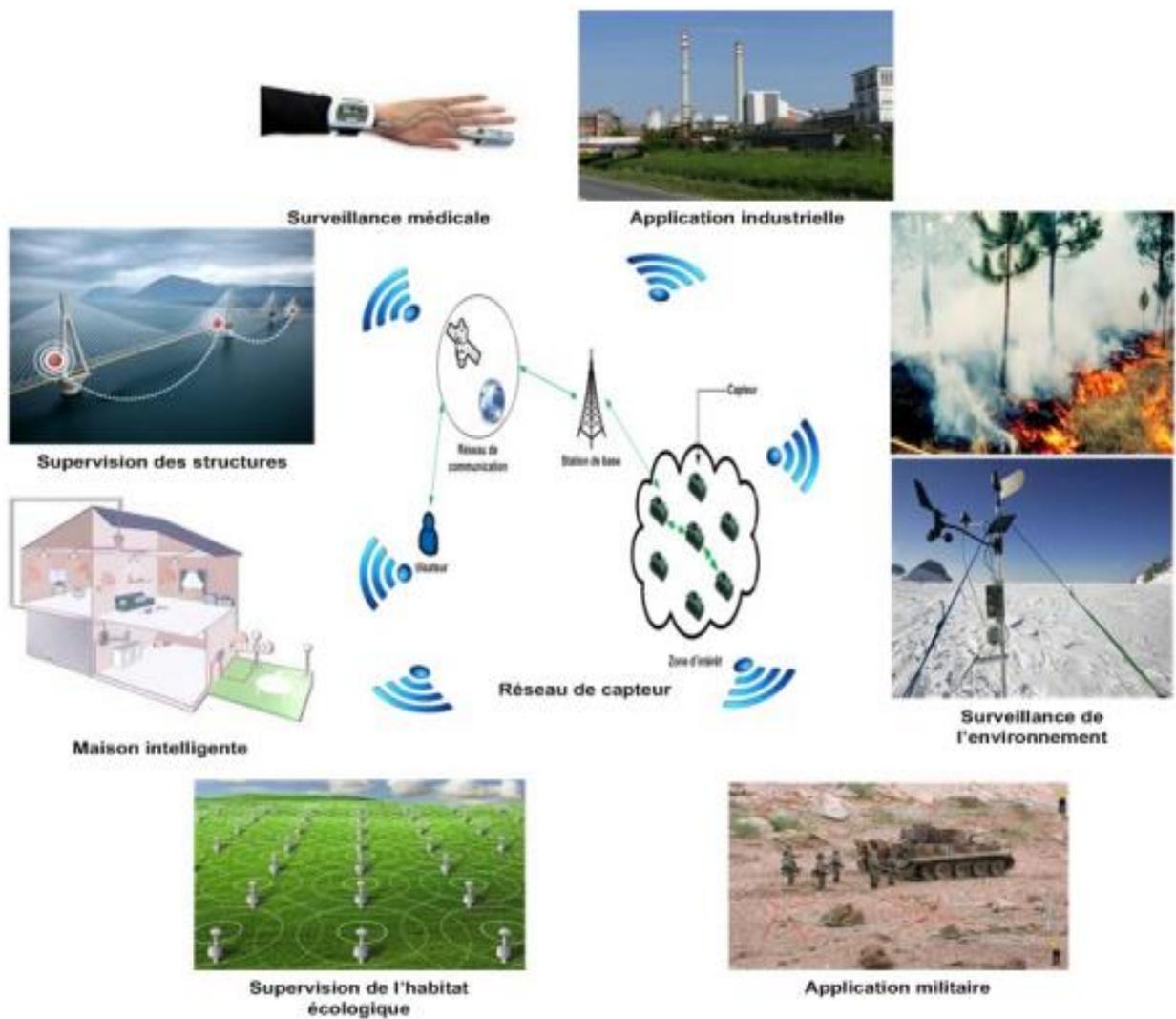


Figure I 6: Quelques domaines d'applications des réseaux de capteurs sans fil

6. Caractéristique des RCSF

De plus, les caractéristiques de base du RCSF sont déterminées comme suit [10] :

- Évolutivité et adaptabilité : l'importance du nombre de nœuds peut parfois atteindre des millions pour permettre une meilleure granularité du suivi et une polyvalence de remplacement en cas de panne.
- Caractéristiques des perturbations du trafic : L'accès sans fil est perturbé en raison d'interférences inévitables au sein du RCSF (par exemple perturbation des liaisons radio dans les hôpitaux).

- Réseau multi-sauts : en raison des limitations des ressources physiques causées par la miniaturisation des composants électroniques, WSN adopte une communication multi-sauts.
- Consommation d'énergie réduite : La gestion de l'énergie au sein de RCSF est limitée puisque les capteurs sont alimentés par des batteries non remplaçables en raison de l'environnement hétérogène défavorable (sachez que les batteries rechargeables sont très chères et donc très peu rentables d'un point de vue économique).
- Différents types de déploiement : passer d'un déploiement à un autre peut produire différents résultats :
 - Le déploiement dans la nature peut entraîner un manque de sécurité physique en raison d'intrus ou de capture de nœuds.
 - Déployer une topologie qui nécessite une pré-configuration à un emplacement spécifique.
 - Le déploiement aléatoire nécessite des algorithmes auto-organisés.

7. Architecture d'un nœud de capteurs

Un nœud capteur se compose de quatre composants fondamentaux : l'unité de captage, l'unité de traitement, l'unité de transmission et l'unité de contrôle d'énergie. En fonction de son domaine d'application, il peut également inclure des éléments supplémentaires tels qu'un système de localisation ou des générateurs d'énergie.

L'unité de captage comprend généralement deux sous-unités : le capteur lui-même et un convertisseur analogique-numérique qui transforme les signaux analogiques en signaux numériques, basés sur le phénomène observé. Ces signaux sont ensuite transmis à l'unité de traitement. Cette dernière, souvent accompagnée d'une petite unité de stockage, exécute les opérations nécessaires pour que le nœud puisse interagir avec les autres nœuds du réseau et fournir finalement les résultats des tâches assignées.

L'unité de transmission gère la connexion du nœud au réseau, tandis que l'unité de contrôle d'énergie joue un rôle crucial en assurant une gestion efficace de la consommation d'énergie dans le nœud capteur [10].

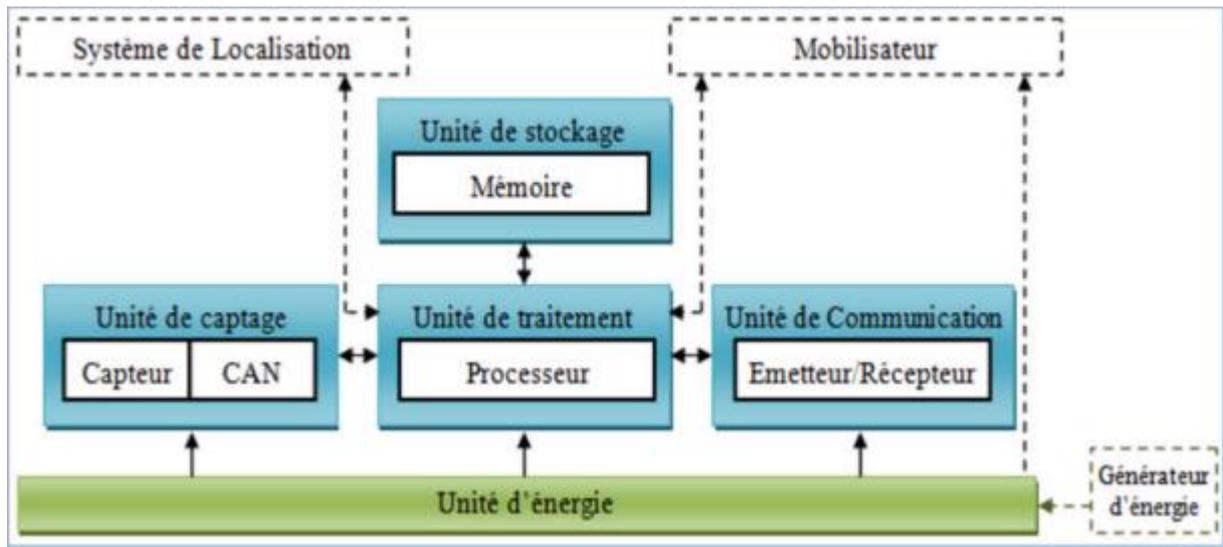


Figure I 7: Architecture d'un nœud capteur.

7.1. Unité d'énergie :

Typiquement, une fois déployés, les nœuds d'un réseau de capteurs deviennent inaccessibles, ce qui rend la durée de vie du réseau entièrement dépendante de la source d'énergie des nœuds capteurs. Cette durée de vie est fortement influencée par les contraintes de taille des nœuds, généralement alimentés par des batteries. Ces batteries peuvent être rechargeables ou non, mais dans des environnements sensibles, il n'est souvent pas possible de les recharger ou de les remplacer. Ainsi, l'énergie représente la ressource la plus critique, car elle impacte directement la durée de vie des capteurs et donc celle du réseau de capteurs [10].

7.2. Unité de captage :

La fonction principale de l'unité de détection est de capturer ou de mesurer les données physiques de l'objet cible. L'appareil se compose de deux éléments : un récepteur (qui identifie la grandeur physique à capturer) et un capteur (qui convertit le signal émis par le récepteur en signal électrique). Un convertisseur analogique-numérique (ADC) reçoit un signal analogique basé sur des phénomènes observés par un capteur. Celui-ci convertit ces signaux en informations numériques et les envoie à l'unité de traitement. L'unité de détection peut être incluse dans le capteur [10].

7.3. Unité de traitements (processeur) :

Il est constitué d'une interface d'acquisition et d'une interface de transmission, ainsi que d'un processeur et d'un système d'exploitation dédié. Son rôle est de récupérer les données de l'interface d'acquisition et de les transmettre à l'interface de transmission. Les types de processeurs adaptés aux capteurs incluent les microcontrôleurs, les DSP (Digital Signal Processors), les FPGA (Field Programmable Gate Arrays) et les ASIC (Application Specific

Integrated Circuits). Parmi ces options, les microcontrôleurs sont les plus répandus en raison de leur capacité à se connecter facilement à d'autres composants (comme les unités de communication), de leur coût avantageux et de leur faible consommation d'énergie [10].

7.4. Unité de communication :

La communication utilisant des composants radiofréquences implique l'intégration de circuits de modulation, démodulation, filtrage et multiplexage, ce qui accroît la complexité et les coûts de production des nœuds correspondants. De plus, étant donné que les antennes de ces nœuds sont généralement situées près du sol, la perte de signal entre eux peut être significative. Malgré ces défis, la communication radiofréquence reste le choix privilégié pour la plupart des projets de recherche sur les réseaux de capteurs. Les données échangées dans ces réseaux sont souvent de petite taille et transmises à des débits relativement bas, ce qui facilite la réutilisation des fréquences. Ces caractéristiques rendent les composants de transmission radiofréquence attractifs pour les réseaux de capteurs, bien que la mise en œuvre de solutions à faible consommation d'énergie reste un défi technologique majeur à ce jour. Les technologies commerciales actuelles, comme le Bluetooth, ne répondent pas encore pleinement à cette exigence [10].

7.5. Unité de stockage (Mémoire) :

Elle englobe à la fois la mémoire de programme et la mémoire de données. La capacité de cette mémoire est souvent restreinte principalement pour des raisons économiques, mais elle est constamment améliorée au fil des années [10].

8. Architecture logicielle d'un nœud de capteur (la Pile protocolaire)

Pour faciliter l'interconnexion des systèmes de différents fabricants, l'organisation ISO propose une décomposition fonctionnelle de l'ensemble du processus de communication réseau. Cette division fonctionnelle est décrite dans le modèle OSI comme une structure à sept couches : couche physique, couche liaison, couche réseau, couche transport, couche session, couche présentation et couche application. Pour les réseaux de capteurs, le modèle OSI semble trop complet et même trop complexe. En fait, peu d'applications nécessitent sept couches de classification, et pour les réseaux de capteurs, quatre couches suffisent en réalité. Les nœuds du réseau, y compris les stations de base, adoptent un modèle hiérarchique. Ce modèle comprend cinq couches qui remplissent le même objectif que la couche OSI : couche application, couche transport, couche réseau, couche liaison de données et couche physique [11,12].

À cela s'ajoutent trois autres programmes soutenant la gestion de l'énergie, la mobilité et les missions. Comme le montre la figure I.8.

Selon le type d'application de réseau de capteurs, différents logiciels peuvent être créés et exécutés au niveau de la couche application. Le rôle de la couche transport est de gérer le flux de données lorsque l'application le nécessite. La couche réseau transporte les données de la couche transport.

Le protocole MAC (Media Access Control) de la couche liaison gère les méthodes d'accès aux supports physiques. Il doit également prendre en compte la consommation d'énergie et réduire les conflits entre les nœuds du réseau. La couche physique assure la transmission et la réception des bits de données. Il est également responsable de la modulation des données [13]. De plus, les trois plans de gestion de l'énergie, de mobilité et de tâches sont importants pour surveiller respectivement la puissance, la mobilité et la répartition des tâches entre les nœuds de capteurs. Ces plans de gestion sont essentiels au fonctionnement des nœuds de capteurs car ils collaborent de manière efficace pour économiser de l'énergie, acheminer les données dans les réseaux de capteurs mobiles et partager des ressources entre eux. [14].

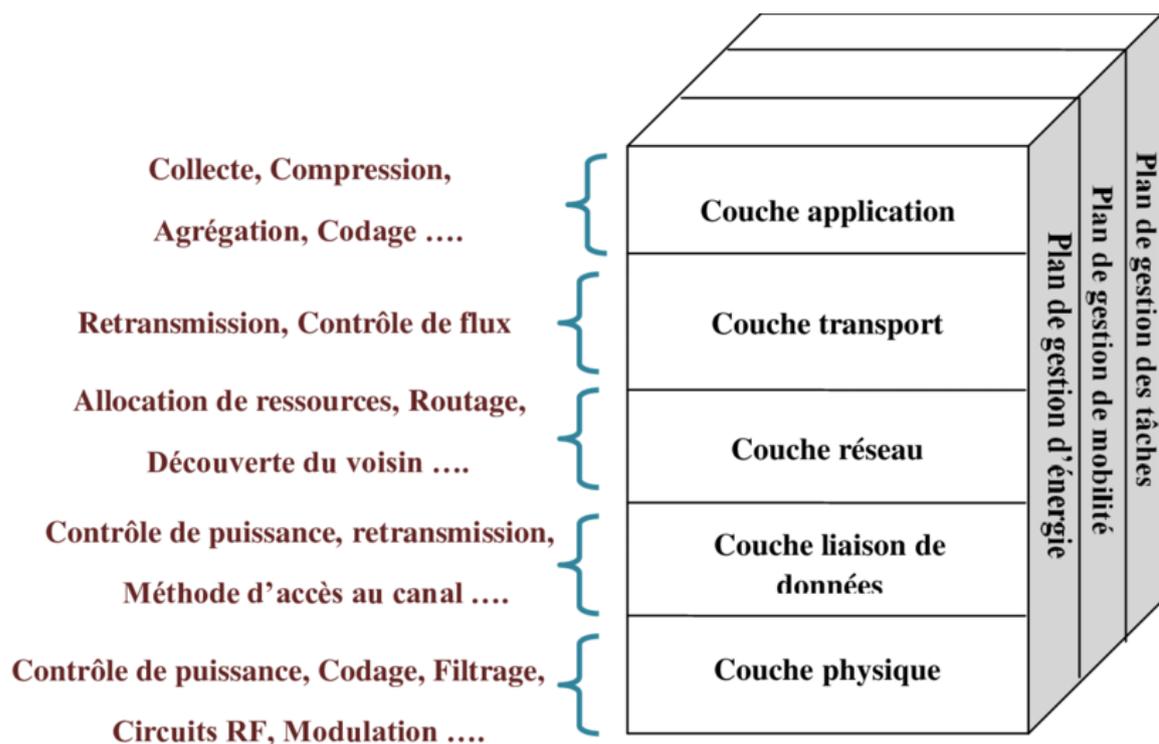


Figure I 8: La pile protocolaire.

9. Avantages et inconvénient des RSCF

9.1. Avantages

- Installation facile et rapide : Les capteurs sans fil peuvent être rapidement déployés sans câblage complexe.
- Flexibilité : les capteurs sans fil peuvent être facilement déplacés ou ajoutés pour répondre aux besoins changeants de l'environnement.
- Coûts réduits : les réseaux de capteurs sans fil ont tendance à être moins coûteux que les systèmes filaires en termes de matériel et de main d'œuvre.
- Évolutivité : les réseaux de capteurs sans fil peuvent être facilement étendus pour couvrir de plus grandes zones ou inclure davantage de capteurs.
- Accès aux endroits difficiles d'accès : Les capteurs sans fil peuvent être placés dans des endroits difficiles ou dangereux d'accès pour les humains.

9.2. Inconvénients

- Fiabilité limitée : les réseaux sans fil peuvent être sujets à des interférences électromagnétiques ou des problèmes de connectivité, ce qui peut entraîner des erreurs de transmission de données.
- Durée de vie limitée de la batterie : les capteurs sans fil fonctionnent généralement sur batterie, ce qui signifie qu'ils doivent être remplacés ou rechargés régulièrement.
- Sécurité : les réseaux de capteurs sans fil peuvent être vulnérables aux attaques de sécurité, ce qui peut compromettre la confidentialité des données.
- Bande passante limitée : les réseaux sans fil ont une bande passante limitée par rapport aux réseaux câblés, ce qui peut limiter la quantité de données pouvant être transmises.
- Portée limitée : la portée des réseaux de capteurs sans fil peut être limitée en fonction de la technologie utilisée, ce qui peut nécessiter un déploiement plus dense de capteurs pour couvrir une zone donnée.

10. Etat de l'art

La réalisation d'un nœud de mesure autonome pour un réseau de capteurs sans fil constitue un domaine de recherche et de développement crucial dans de nombreux domaines, notamment la surveillance environnementale, l'agriculture de précision, la gestion des ressources naturelles et la surveillance industrielle. Voici un état de l'art détaillé sur ce sujet :

– Conception et Architecture :

- Microcapteurs : Les nœuds de mesure autonomes sont équipés de microcapteurs adaptés à l'application spécifique. Par exemple, des capteurs de température, d'humidité ou de luminosité.
- Microcontrôleur : Utilisez un microcontrôleur basse consommation pour gérer les capteurs, la communication et l'énergie.
- Batterie ou Source d'Énergie : Choisissez une source d'énergie durable, comme une batterie rechargeable ou un panneau solaire.
- Module de Communication sans Fil : Intégrez un module compatible avec le réseau (Zigbee, LoRa, Wi-Fi, etc.).

– Alimentation Énergétique :

- Optez pour des sources d'énergie renouvelables (par exemple, le solaire) ou des batteries longue durée.
- Mettez en place un système de récupération d'énergie (par exemple, récupération d'énergie électromagnétique) si possible [15].

– Protocoles de Communication :

- Sélectionnez un protocole de communication adapté à votre application WSN.
- Assurez-vous que le nœud peut communiquer avec le reste du réseau.

– Boîtier et Étanchéité :

- Protégez le nœud contre les intempéries et les conditions environnementales.
- Utilisez un boîtier étanche pour prolonger sa durée de vie.

Voici quelques exemples de nœuds de mesure autonomes dans la littérature scientifique

– Systèmes de Récupération d'Énergie Électromagnétique :

- Abdel Hadi Hobballah a réalisé une thèse sur la conception et la réalisation de systèmes de récupération et de transfert d'énergie électromagnétique pour l'autonomie des nœuds communicants de réseaux de capteurs sans fil [15].
- Mohamed Sridi a développé un système d'alimentation pour un nœud de capteur sans fil, basé sur la récupération d'énergie solaire et thermique [16].
- Imane Hadjaz a travaillé sur la conception d'un réseau de capteurs sans fil pour la surveillance de la qualité de l'eau, incluant des nœuds autonomes alimentés par des panneaux solaires [17].

Ces exemples illustrent différentes approches pour la réalisation de nœuds de mesure autonomes. Chaque projet s'adapte aux besoins spécifiques de l'application et aux contraintes environnementales. [15] [16] [17].

11. Conclusion

Les réseaux de capteurs ont rencontré un succès remarquable grâce à plusieurs facteurs clés :

- Leur taille compacte permet un déploiement facile dans divers environnements tels que les bâtiments, les champs agricoles et même les environnements sous-marins.
- L'intelligence embarquée dans les capteurs leur permet de s'auto-organiser et de démarrer le réseau sans difficultés majeures.
- Ces réseaux peuvent être configurés avec un nombre variable de nœuds, allant de quelques capteurs à des centaines voire des milliers.

Dans le chapitre suivant, nous présenterons la conception de notre propre réseau de capteurs en détaillant la structure et le fonctionnement général du système, ainsi que le matériel nécessaire pour sa réalisation.

Chapitre II
Présentation de la
méthodologie

1. Introduction

La conception des nœuds capteurs sans fil repose sur une analyse approfondie de leur application afin d'atteindre les objectifs définis. Cette approche est essentielle pour profiler les composants matériels et déterminer les méthodes logicielles et de programmation, assurant ainsi une flexibilité et une efficacité maximales pendant leur fonctionnement.

Il est primordial, dans la conception de ce système, de tenir compte du format compact des nœuds, de leur efficacité énergétique, ainsi que de leur équipement en capteurs performants, dotés d'unités de stockage et de communication de données. Le choix des composants doit également considérer des critères économiques tels que la taille réduite et la faible consommation énergétique, contribuant ainsi à établir une structure système économiquement viable.

Dans ce chapitre, nous détaillerons tout d'abord l'architecture globale du système à développer. Ensuite, nous expliquerons le fonctionnement général du système, en particulier celui des différentes unités composant les nœuds capteurs et le rôle spécifique de chaque élément.

2. Schéma générale du système

Le système se compose d'un nœud récepteur utilisant Arduino Uno comme unité centrale, assurant la réception des données via LoRa provenant des nœuds émetteurs, et commandant les dispositifs de sortie tels que des LED et un Buzzer pour signaler les événements détectés. Le module LoRa SX1278 permet une communication à longue portée avec les nœuds émetteurs, tandis que la LED indique divers états du système (par exemple, vert pour fonctionnement normal, rouge pour alarme active) et le Buzzer émet des alertes sonores en cas de détection de danger comme un incendie. Chaque nœud émetteur, positionné stratégiquement dans la forêt à surveiller, utilise également un module LoRa SX1278 pour transmettre périodiquement les données de capteur du DHT11 (température et humidité locales) ainsi que les alertes du détecteur de flamme au nœud récepteur. Cette architecture permet une surveillance proactive des conditions environnementales critiques, assurant une détection précoce des incendies et facilitant une intervention rapide et efficace en cas de besoin, contribuant ainsi à la sécurité et à la gestion optimisée des risques dans les zones forestières.

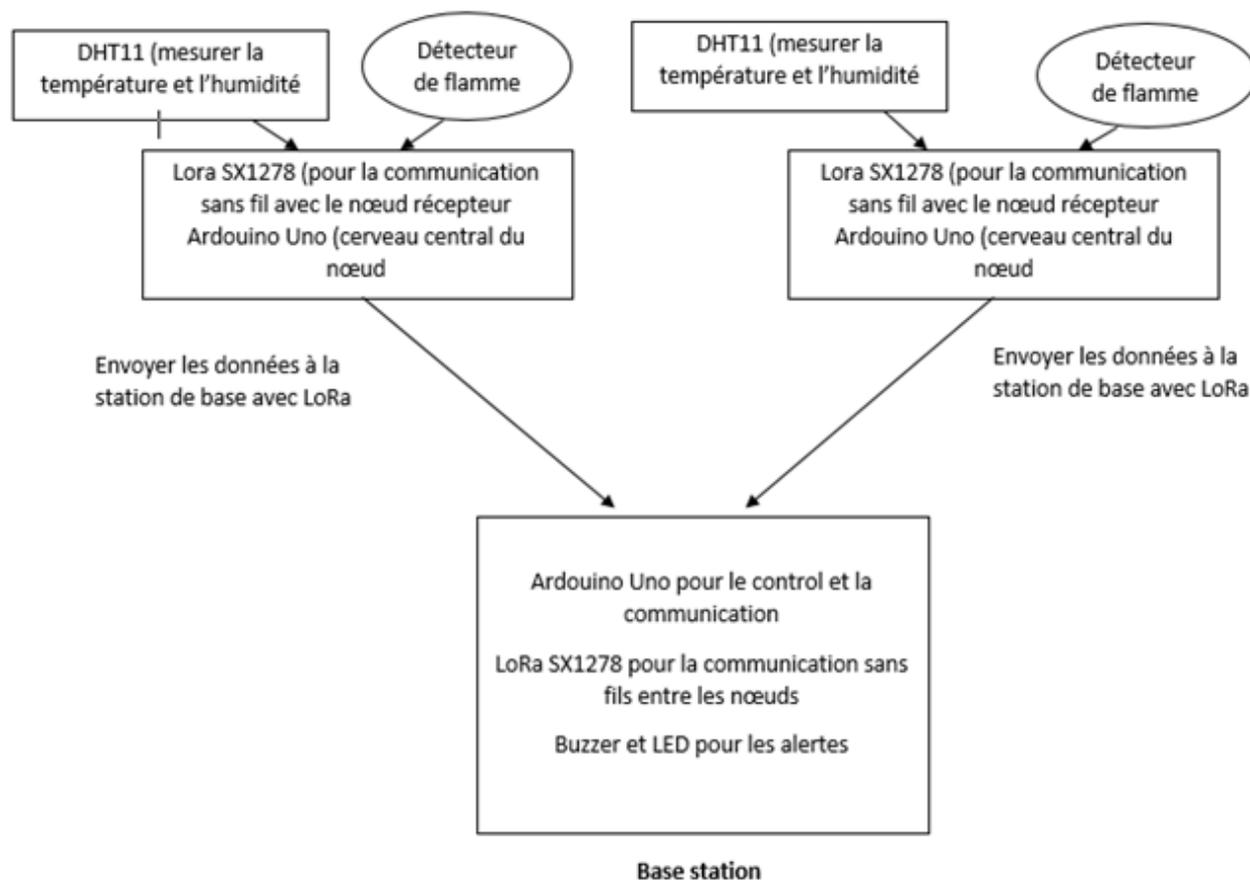


Figure II 1 : Schéma générale du système

En raison du manque de matériel, nous avons installé un capteur dans chaque nœud pour établir la connexion sans fil entre eux.

3. Fonctionnement de système

– Capture des données par les capteurs de fumée :

Chaque nœud de mesure est équipé d'un capteur de flamme (le Ky-026), qui détecte les concentrations de fumée dans son environnement et un capteur DHT11 qui mesure la température et l'humidité.

– Traitement des données par le microcontrôleur Arduino Uno :

Le microcontrôleur reçoit les données du capteur de fumée et les traite pour détecter les variations significatives de la concentration de fumée, indiquant ainsi la présence d'un possible incendie.

– Communication sans fil via les modules LoRa :

Une fois que le microcontrôleur a traité les données de détection de fumée, il les transmet à d'autres nœuds de mesure ou à une station de base à l'aide des modules LoRa SX1278. Les nœuds peuvent être interconnectés en réseau pour partager les informations sur la détection de flamme et fournir une couverture étendue dans la forêt.

– **Gestion de l'énergie et autonomie :**

Les nœuds de mesure sont conçus pour être autonomes et fonctionner sur des sources d'énergie telles que des batteries rechargeables ou des panneaux solaires. Le microcontrôleur peut être programmé pour gérer efficacement la consommation d'énergie afin de prolonger la durée de vie de la batterie et assurer le fonctionnement continu du nœud de mesure.

– **Réception et analyse des données :**

Les données de détection de fumée transmises par les nœuds de mesure peuvent être reçues et analysées par d'autres nœuds, une station de base ou même un PC distant. Cela permet une surveillance en temps réel de l'environnement forestier et une prise de décision rapide en cas de détection d'incendie.

En résumé, chaque nœud de mesure autonome collecte, traite et transmet les données de détection de fumée via LoRa, contribuant ainsi à la création d'un réseau de surveillance efficace pour la détection précoce des incendies dans la forêt.

4. Unité de traitement : Carte Arduino Uno

La carte Arduino Uno est basée sur un ATmega328 cadencé à 16 MHz. C'est la plus simple et la plus économique carte à microcontrôleur d'Arduino.

Cette carte peut se programmer en USB avec le logiciel Arduino [18].



Figure II 2: Carte Arduino Uno

Caractéristiques :

Le tableau suivant résume les spécifications techniques principales du microcontrôleur Arduino Uno (ATMega328), pertinentes pour la conception et l'intégration du système de surveillance de la forêt.

Caractéristiques	Détails
Alimentation	Via port USB ou 7 à 12 V sur connecteur alim 5,5 x 2,1 mm
Microcontrôleur	ATMega328
Mémoire flash	32 kB
Mémoire SRAM	2 kB
Mémoire EEPROM	1 kB
Interfaces 1	4 broches d'E/S (dont 6 PWM), 6 entrées analogiques 10 bits, Bus série, I2C et SPI
Intensité par E/S	40 mA
Cadencement	16 MHz
Gestion des interruptions	Oui
Connecteur USB	USB B
Version	Rev. 3
Dimensions	74 x 53 x 15 mm

Tableau II 1 : Caractéristique de la carte Arduino Uno

5. Module de communication sans fil Lora XL 1278

Les émetteurs-récepteurs SX1276/77/78/79 sont équipés du modem longue portée LoRa qui offre une communication à spectre étalé ultra longue portée et une immunité élevée aux interférences tout en minimisant la consommation de courant [19].

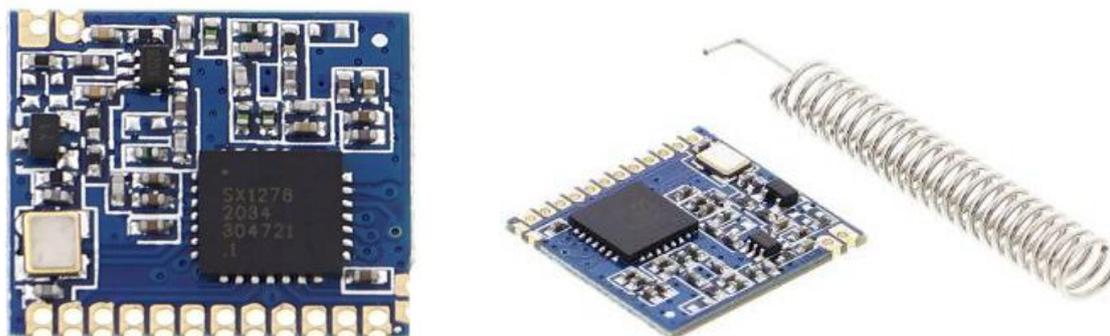


Figure II 3 : Module Lora SX1278

Le SX1278 peut atteindre une sensibilité supérieure à -148 dBm en utilisant un cristal à faible coût. La haute sensibilité combinée à l'amplificateur de puissance intégré de +20 dBm produit un budget de liaison de pointe, ce qui le rend optimal pour toute application nécessitant une portée ou une robustesse. Le Lora SX1278 offre également des avantages significatifs en termes de blocage et de sélectivité par rapport aux techniques de modulation conventionnelles, résolvant ainsi le compromis de conception traditionnel entre portée, immunité aux interférences et consommation d'énergie [19].

5.1. Brochage du module SX1278

Il existe différentes versions et types de cartes de dérivation SX1278 disponibles sur le marché. Mais fondamentalement, ils ont tous le même brochage puisque le LoRa SX1278 est un module SPI [19].

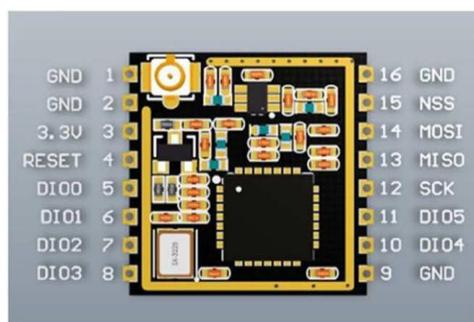


Figure II 4 : Brochage de LoRa SX1278

Cette version de module du SX1278 dispose de 12 broches pour l'interface avec le microcontrôleur et de deux broches supplémentaires pour l'antenne [19].

Pin	Name	Description
1	GND	Ground (0v)
2	DIO1	Digital I/O
3	DIO2	Digital I/O
4	DIO3	Digital I/O
5	VCC	Power (3, 6 v Maximum)
6	MISO	SPI Data Output
7	MOSI	SPI Data Output
8	SLCK	SPI Data Clock
9	NSS	SPI Chip Select
10	DIO0	Digital I/O
11	RESET	Reset
12	GND	Ground (0v)

Tableau II 2 : SX1278 Pin out

6. Capteur de température et d'humidité

Le DHT11 est un capteur économique de température et d'humidité numérique de base. Il fonctionne avec un capteur d'humidité capacitif et une thermistance pour mesurer l'environnement ambiant. Le capteur transmet un signal numérique directement sur une broche de données, ne nécessitant pas l'utilisation d'une entrée analogique [20].

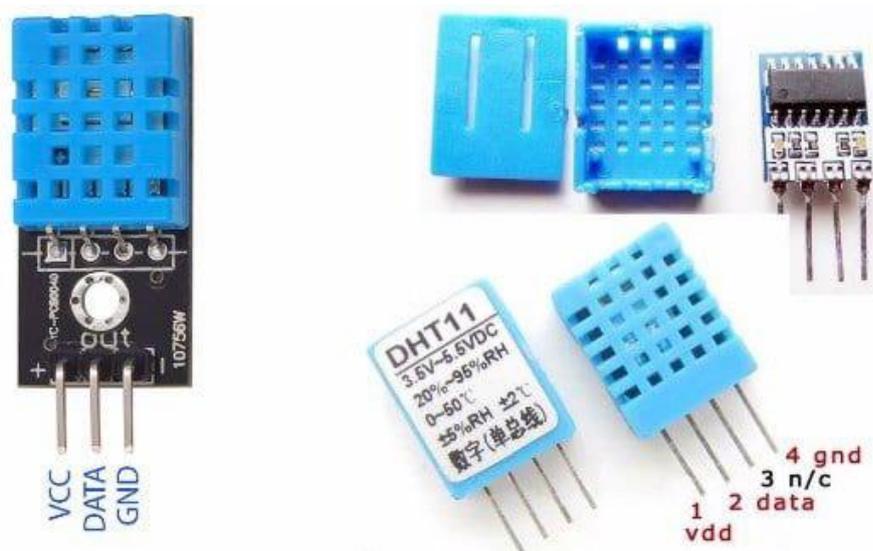


Figure II 5: Capteur DHT11

C'est assez simple à utiliser, mais nécessite un timing minutieux pour récupérer les données. Le seul véritable inconvénient de ce capteur est que vous ne pouvez en obtenir de nouvelles données qu'une fois toutes les 2 secondes. Ainsi, lorsque vous utilisez la bibliothèque, les lectures du capteur peuvent dater jusqu'à 2 secondes [20].

7. Capteur détecteur de flamme

Le capteur de flamme est conçu pour détecter les sources d'incendie ainsi que d'autres sources lumineuses dans la plage de longueurs d'onde entre 760 nm et 1100 nm. Il repose sur le phototransistor YG1006, un dispositif NPN au silicium à haute vitesse et très sensible. Grâce à son enveloppe en époxy noir, ce capteur est particulièrement réceptif au rayonnement infrarouge[21].

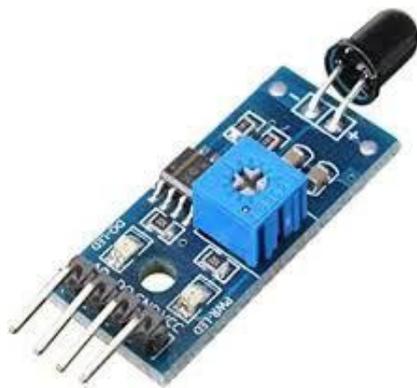


Figure II 6 : Capteur détecteur de flamme

Caractéristiques :

Le tableau suivant synthétise les spécifications clés du capteur de flamme YG1006, facilitant ainsi sa compréhension et son intégration dans des systèmes de détection d'incendie et d'autres applications similaires.

Caractéristiques	Détails
VCC	Entrée de tension positive : 5v pour analogique 3.3v pour numérique.
A0	Sortie analogique
D0	Sortie numérique
Terre	Sol
Température de service	-40 °C à +85 °C
Humidité de service	30 à 90 % HR
Dimensions	42 x 16 x 15 mm
Sortie analogique (A0)	Signal de tension de sortie en temps réel sur la résistance thermique.
Poids	4g

Tableau II 3 : Caractéristique de capteur de flamme

8. Alimentation

Une batterie externe est une source d'alimentation portable indispensable qui permet de recharger des appareils électroniques tels que smartphones, tablettes et ordinateurs portables lors de déplacements. Imaginez-vous en déplacement avec votre téléphone à court de batterie. Plutôt que de chercher désespérément une prise électrique, il suffit de connecter votre appareil à la batterie externe et de continuer votre journée sans interruption. Ces dispositifs sont généralement équipés de ports USB pour une compatibilité universelle, et certains proposent même des fonctionnalités de chargement sans fil. [22].



Figure II 7: Power Bank

9. Conception du schéma électronique

Fritzing :

Le logiciel Fritzing est un outil de conception électronique qui facilite la création de schémas de circuits et de circuits imprimés.

Nous avons utilisé Fritzing pour notre projet afin de visualiser les schémas de chaque partie électronique de manière claire et précise.

9.1. Schéma d'émetteur

La partie émettrice se compose de deux nœuds. Dans le premier nœud, on trouve une carte Arduino UNO, un détecteur de flamme et un module LoRa SX1278. Le deuxième nœud inclut une autre carte Arduino UNO, un capteur DHR11 et également un module LoRa SX1278.

Les schémas de circuit correspondants sont présentés ci-dessous.

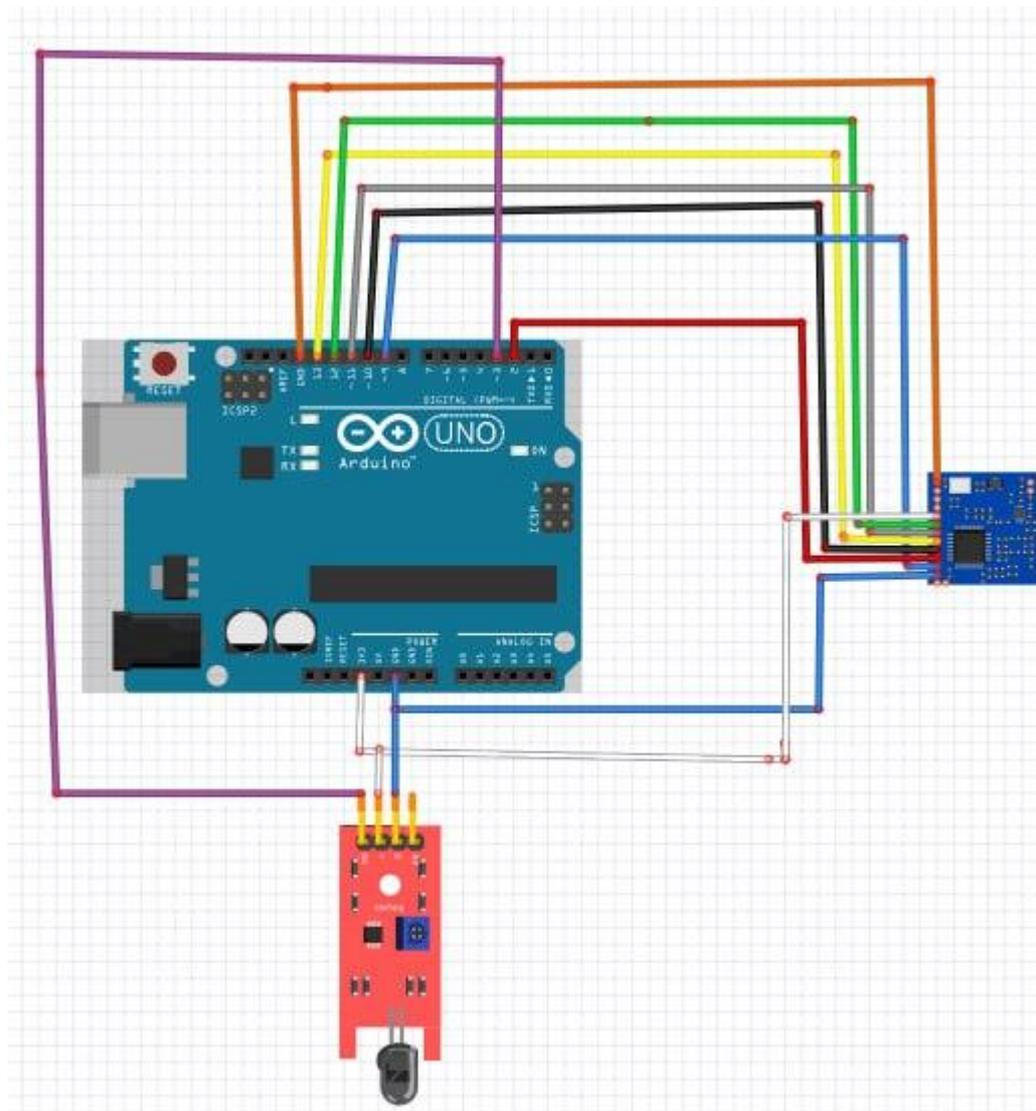


Figure II 8 Schéma d'émetteur (nœud 1)

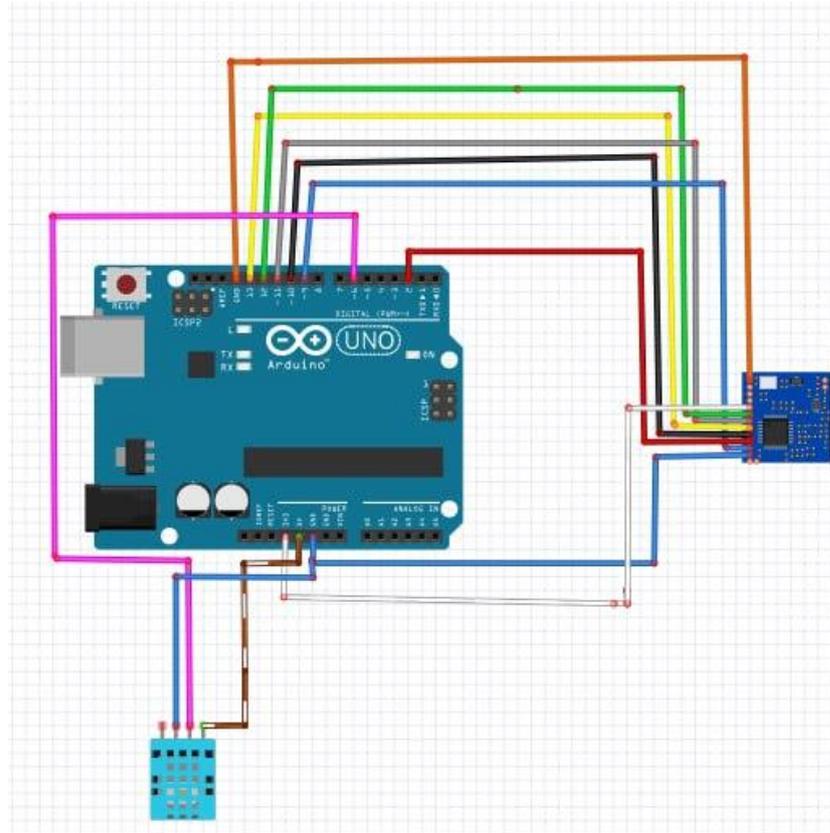


Figure II 9: Schéma d'émetteur (nœud 2)

9.2. Schéma de récepteur

La partie réceptrice contient la carte Arduino Nano, LED, Buzzer et le module LoRa SX1278. Le schéma de circuit est donné ci-dessous.

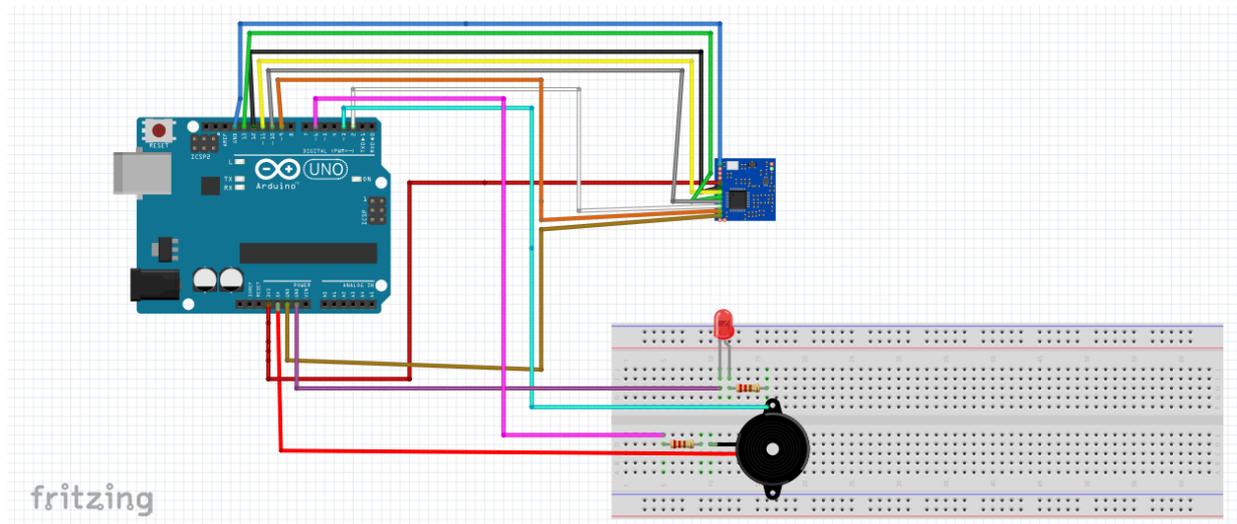


Figure II 10 : Schéma récepteur

10. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons examiné la structure et le fonctionnement du système, ainsi que les différents composants sélectionnés et les raisons justifiant leur choix, afin de faciliter la réalisation de notre système.

Dans le chapitre suivant, nous détaillerons les étapes que nous avons suivies pour implémenter et concrétiser notre système.

Chapitre III
Implémentation de
l'application

1. Introduction

Au cours des dernières décennies, la nécessité d'observer et de contrôler des environnements difficiles est devenue critique pour de nombreuses applications militaires et scientifiques. Cela nécessite de nouvelles technologies qui prennent en compte la sensibilité de l'environnement et fournissent des informations pertinentes sur l'environnement numérisé. La technologie est capable de détecter différents types d'informations telles que la température, l'humidité, la lumière, les vibrations sismiques ainsi que la présence ou la nature d'organismes biologiques.

Afin de fournir des données précises et en temps réel sur la détection des incendies de forêt, nos travaux se concentrent sur la mise en œuvre d'une application conçue pour détecter les incendies de forêt à l'aide des données de température et d'humidité collectées par des capteurs.

Ce chapitre est structuré comme suit. La première section liste des généralités sur les feux de forêts. La seconde section énonce l'objectif de notre travail. La troisième présente les différentes plateformes logicielles utilisées au cours de notre travail, la dernière section introduit le cœur de notre mémoire c'est à dire l'implémentation de l'application.

2. Implémentation de l'application

Arduino

Cette section décrit la conception et la mise en œuvre de l'application de WSN utilisée pour la détection des incendies. Elle présente en détail la plateforme logicielle choisie pour cette implémentation ainsi que ses exigences spécifiques. Pour notre projet, nous avons opté pour le logiciel suivant :

Le système Arduino est basé sur une plateforme Open Source intégrée à une carte équipée d'un microcontrôleur AVR. Il permet d'écrire, compiler et tester des programmes. Les cartes et modules Arduino sont dotés d'entrées/sorties qui reçoivent des signaux de capteurs ou d'interrupteurs, permettant ainsi de commander des moteurs, des éclairages, et d'autres dispositifs.

Les programmes Arduino peuvent être contrôlés depuis un PC ou fonctionner de manière autonome. Le logiciel de développement Arduino est Open Source et Open Hardware.

L'IDE Arduino permet :

- Éditer un programme : Créer des croquis (sketches en anglais) où les programmes sont rédigés en langage C.
- Compiler le programme : Traduire le langage C en langage machine adapté au microcontrôleur Arduino.
- Console de compilation : Affiche les détails de la compilation et les messages d'erreur éventuels.
- Téléverser le programme : Charger le programme dans la mémoire de l'Arduino via le port USB de l'ordinateur ; une fois chargé, le logiciel est appelé micrologiciel.
- Console de téléversement : Fournit des informations sur le processus de téléversement et affiche les éventuels messages d'erreur.
- Communiquer avec la carte Arduino via le terminal ou moniteur série : Pendant l'exécution du programme en mémoire sur l'Arduino, il peut communiquer avec l'ordinateur tant que la connexion reste active (via câble USB, par exemple).

2. Programmation

2.1. Fonctionnement de l'émetteur

2.1.1. Nœud 1 (La détection de flamme)

L'organigramme décrit le fonctionnement détaillé d'un programme utilisant un microcontrôleur Arduino Uno pour détecter et transmettre des données sur la détection de flammes à l'aide d'un module LoRa (Long Range). Voici une explication détaillée :

Le programme commence par l'initialisation où la communication série est établie à 9600 bauds et les broches nécessaires sont configurées pour le capteur de flamme et le module LoRa. Il vérifie ensuite si l'initialisation du module LoRa est réussie ; en cas d'échec, un message d'erreur est affiché et le programme entre dans une boucle infinie jusqu'à résolution du problème.

Une fois l'initialisation confirmée, le programme entre dans une boucle principale qui se répète indéfiniment. À chaque itération, il lit l'état du capteur de flamme. Si une flamme est détectée (FLAME_PIN HIGH), il définit un message correspondant. Sinon, il déclare qu'aucune flamme n'est détectée.

Après avoir affiché l'état de la détection sur le moniteur série, le programme concatène un identifiant avec le message et stocke ces données dans une variable `sensorData`. Ensuite, il commence le processus d'émission via LoRa en préparant, envoyant et finalisant le paquet contenant `sensorData`.

Entre chaque itération de la boucle principale, le programme attend 1 seconde (1000 ms) pour recommencer le processus. Cette boucle permet une surveillance continue et en temps réel des conditions de feu, facilitant ainsi la gestion à distance des incidents potentiels dans l'environnement surveillé.

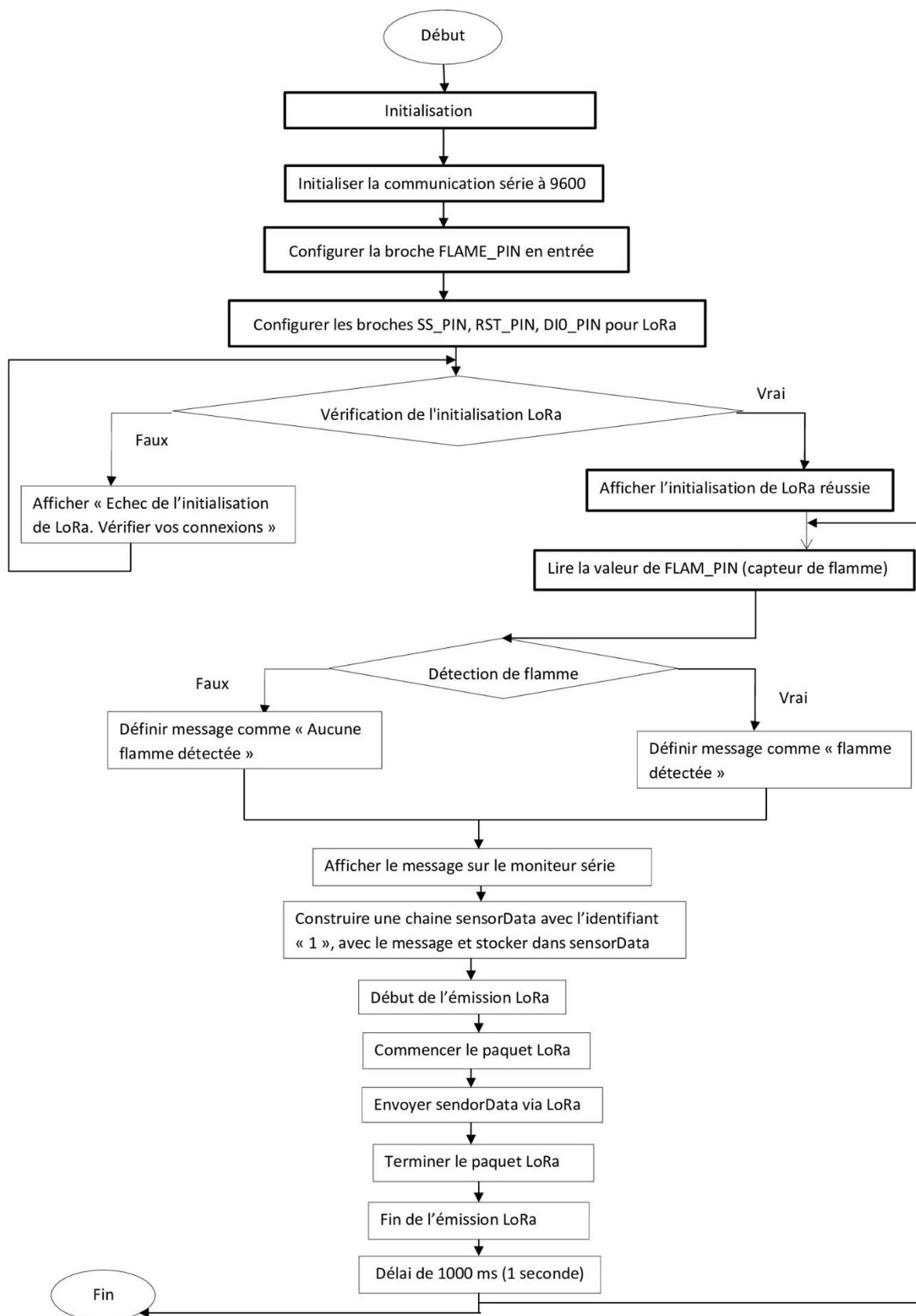


Figure III 1 : Organigramme d'émetteur (nœud 1)

3.1.2. Nœud 2 (la surveillance de température et d'humidité)

L'organigramme suivant décrit le fonctionnement d'un programme utilisant un microcontrôleur ou un dispositif similaire pour collecter et transmettre des données de température et d'humidité à l'aide d'un capteur DHT11 et d'un module LoRa. Voici une explication détaillée :

Le programme démarre par l'initialisation où il configure la communication série à une vitesse de 9600 bauds et initialise le capteur DHT11 sur une broche spécifiée (DHTPIN). Ensuite, il configure les broches nécessaires pour le module LoRa (SS_PIN, RST_PIN, DIO_PIN).

Le programme vérifie ensuite si l'initialisation du module LoRa est réussie. En cas d'échec, il affiche "Échec de l'initialisation de LoRa. Vérifiez vos connexions." sur le moniteur série et entre dans une boucle infinie, empêchant toute autre action jusqu'à résolution du problème.

Si l'initialisation de LoRa est réussie, le programme affiche "Initialisation de LoRa réussie." sur le moniteur série et entre dans une boucle principale qui se répète indéfiniment. À chaque itération de la boucle principale :

1. Le programme lit la température à partir du capteur DHT11.
2. Ensuite, il lit l'humidité à partir du même capteur.
3. Il affiche la température et l'humidité sur le moniteur série.
4. Il construit une chaîne de données sensorData contenant un identifiant (par exemple "2"), la température et l'humidité.
5. Démarre l'émission LoRa en préparant, envoyant et finalisant le paquet contenant sensorData.

Après avoir transmis les données via LoRa, le programme attend 1000 ms (1 seconde) avant de recommencer le processus depuis le début de la boucle principale. Ce cycle permet une surveillance continue et en temps réel des conditions de température et d'humidité, facilitant ainsi la collecte et la transmission des données environnementales importantes dans un environnement donné.

En résumé, ce programme combine l'utilisation de capteurs pour collecter des données environnementales et de la technologie LoRa pour transmettre ces données, assurant une surveillance efficace et une communication robuste des informations dans un système embarqué ou similaire.

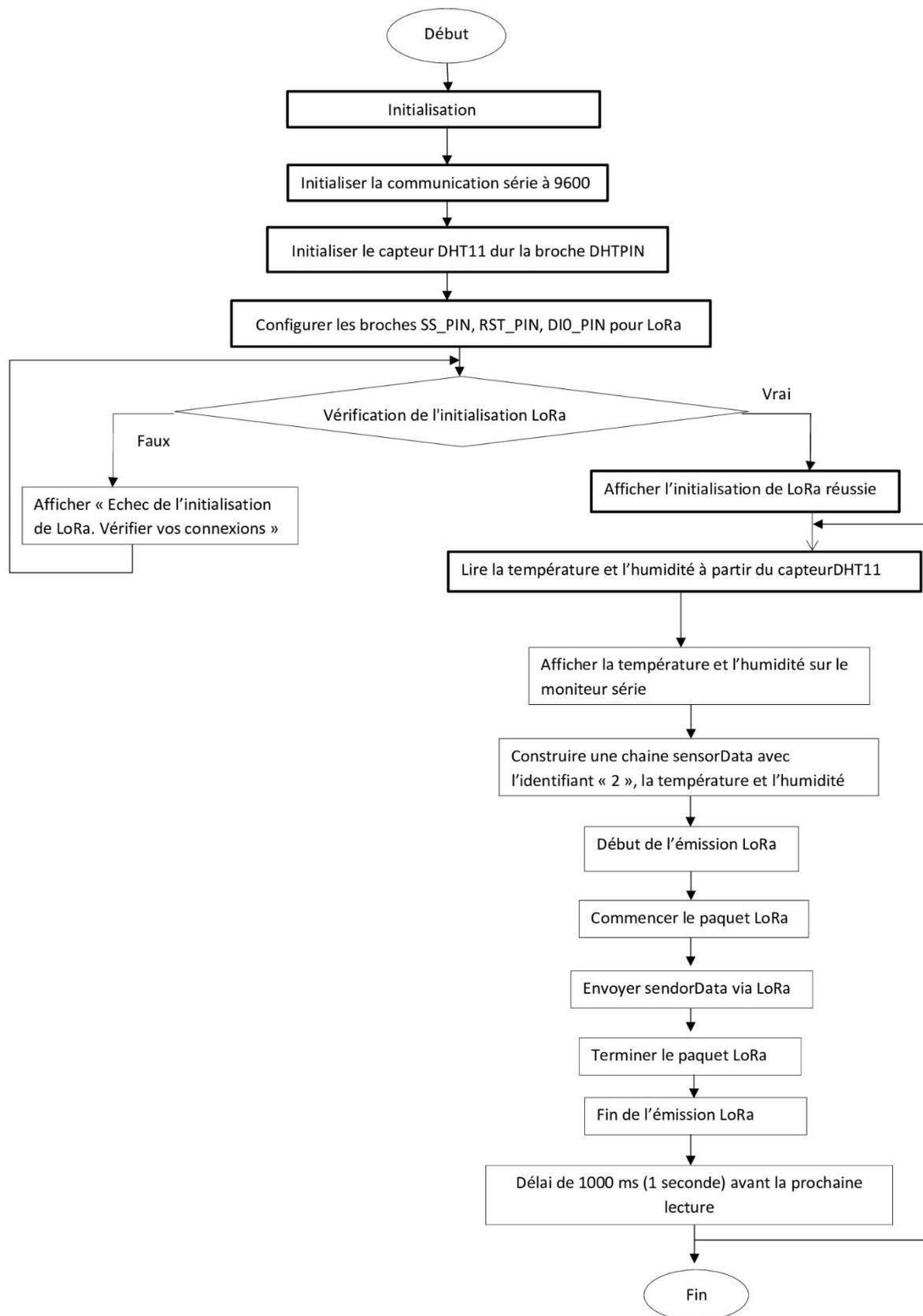


Figure III 2 : Organigramme d'émetteur (nœud 2)

3.2. Fonctionnement de récepteur

L'organigramme décrit en détail le fonctionnement d'un programme conçu pour gérer la communication LoRa et réagir de manière appropriée à des messages entrants spécifiques, utilisant un Arduino Uno. Voici une explication approfondie basée sur l'organigramme précédent :

Le programme débute par l'initialisation, où il configure la communication série à une vitesse de 9600 bauds et prépare les broches nécessaires pour contrôler une LED (LED_PIN) et un buzzer (BUZZER_PIN). Il configure également les broches requises pour le module LoRa (SS_PIN, RST_PIN, DIO_PIN).

Ensuite, le programme vérifie si l'initialisation du module LoRa est réussie. En cas d'échec, il affiche "Échec de l'initialisation de LoRa. Vérifiez vos connexions." sur le moniteur série et entre dans une boucle infinie, empêchant toute autre exécution jusqu'à la résolution du problème.

Si l'initialisation de LoRa est réussie, le programme affiche "Initialisation de LoRa réussie." sur le moniteur série et entre dans une boucle principale qui s'exécute en continu. À chaque itération de cette boucle :

1. Le programme vérifie la présence d'un paquet entrant sur LoRa.
 - S'il y a un paquet, il récupère sa taille et initialise une chaîne pour stocker les données reçues (receivedData).
 - Il lit chaque caractère du paquet jusqu'à ce que toutes les données soient récupérées.
 - Il localise l'indice de la première virgule dans receivedData pour séparer l'ID de l'expéditeur du message.
 - Il extrait l'ID de l'expéditeur et le message correspondant après la virgule.
 - Ces informations (ID de l'expéditeur et message) sont ensuite affichées sur le moniteur série.
2. Si le message reçu indique "Flamme détectée", le programme effectue les actions suivantes :
 - Il active la LED pour signaler visuellement la détection de flamme.
 - Il active le buzzer pour alerter de manière sonore la détection.
 - Il maintient ces indications pendant 4 secondes pour assurer une alerte visible et sonore.
 - Il éteint ensuite la LED et désactive le buzzer pour indiquer la fin de l'alerte.

Après le traitement du message entrant, le programme retourne au début de sa boucle principale pour continuer à surveiller les communications LoRa, en attente de nouveaux messages.

En résumé, ce programme permet de recevoir et de traiter des messages spécifiques via LoRa, utilisant une LED et un buzzer pour signaler de manière visuelle et sonore la détection d'une flamme. Cela facilite la surveillance continue et la réponse rapide aux événements détectés dans un environnement surveillé, assurant ainsi une gestion efficace des situations d'urgence.

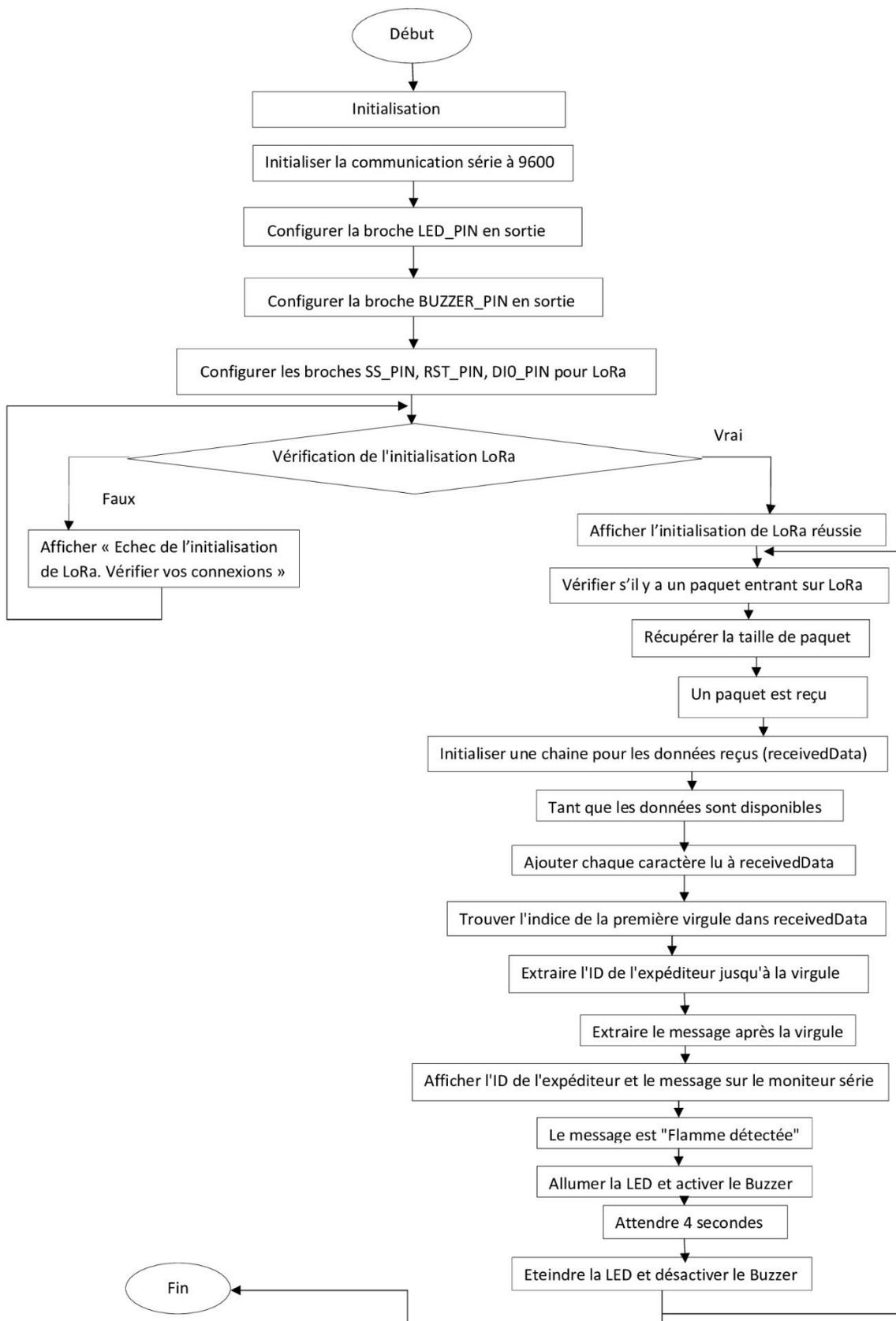


Figure III 3 : Organigramme récepteur

4. Réalisation pratique

4.1. Résultat avant la détection de flamme

Nous avons initié les tests de fonctionnement des composants en réalisant les circuits dans trois configurations différentes, comme illustré dans les figures suivantes :

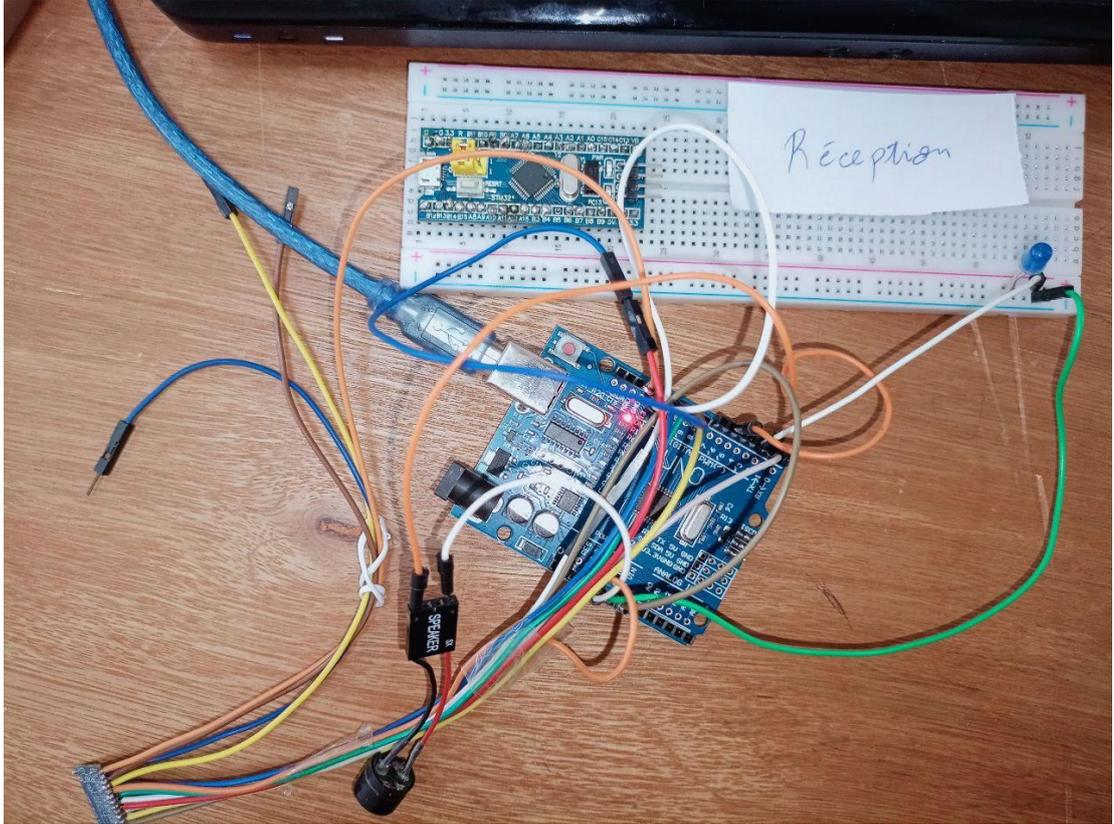


Figure III 4 : Circuit de la réception

On observe qu'il n'y a aucune réaction lors de la réception, car la LED est éteinte et le buzzer est désactivé.

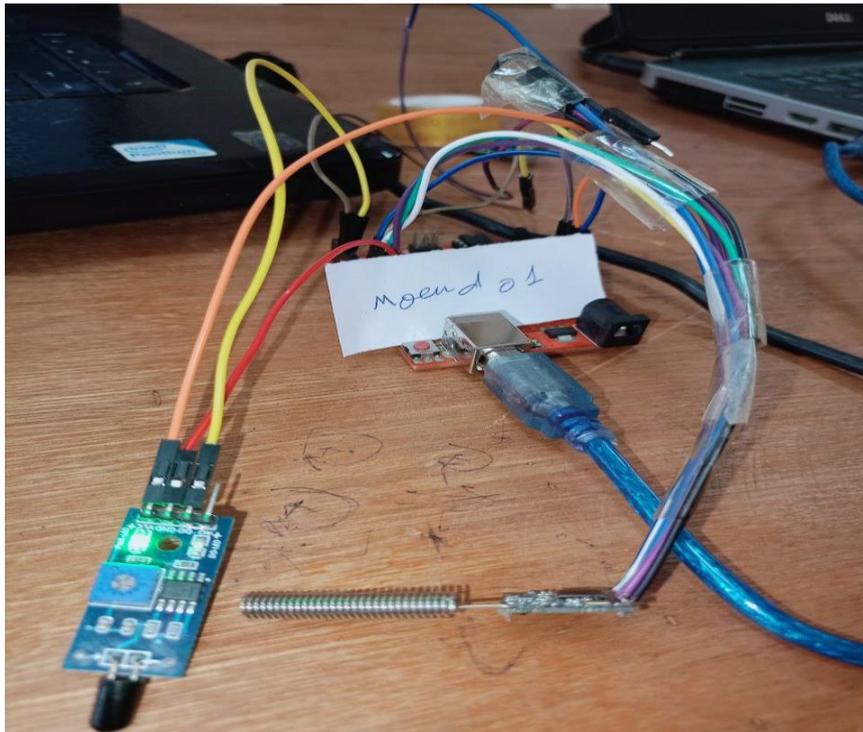


Figure III 5: Circuit émetteur (Nœud 1)

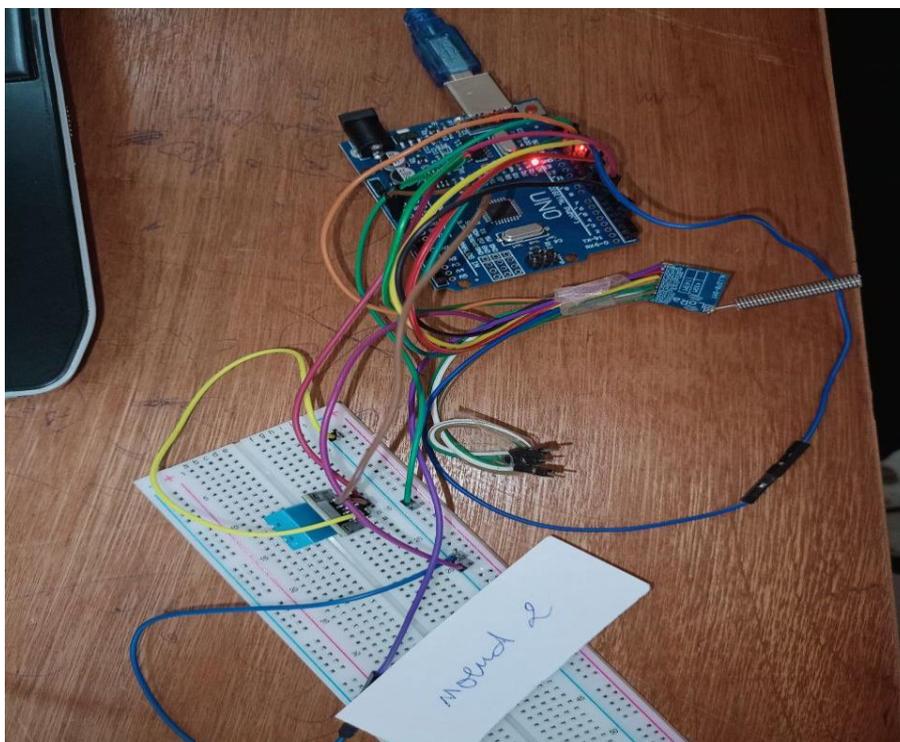


Figure III 6: Circuit d'émetteur (Nœud 2)

Conclusion générale

Conclusion générale

Les réseaux de capteurs ont connu un succès remarquable grâce à plusieurs facteurs clés. D'abord, la taille compacte des nœuds permet leur déploiement flexible dans divers environnements, y compris les bâtiments, les champs agricoles et les zones sous-marines. De plus, l'intelligence embarquée dans ces capteurs facilite leur auto-organisation et le démarrage efficace des réseaux, même dans des conditions variées. Ces réseaux peuvent être composés d'un nombre variable de nœuds, allant de quelques unités à des centaines voire des milliers, ce qui les rend adaptés à une large gamme d'applications.

Les réseaux de capteurs ont rencontré un succès notable grâce à plusieurs facteurs clés. Tout d'abord, la taille compacte des nœuds permet leur déploiement flexible dans divers environnements tels que les bâtiments, les champs agricoles et les zones sous-marines. De plus, l'intelligence intégrée dans ces capteurs facilite leur auto-organisation et leur mise en service efficace, même dans des conditions variées. Ces réseaux peuvent être configurés avec un nombre variable de nœuds, allant de quelques unités à des centaines voire des milliers, les rendant adaptés à une large gamme d'applications.

Dans ce mémoire, nous examinerons la conception de notre propre réseau de capteurs, détaillant sa structure, son fonctionnement général ainsi que les composants matériels nécessaires à sa mise en œuvre. Nous avons soigneusement défini la structure et le fonctionnement du système, justifiant nos choix pour chaque composant afin de garantir une mise en œuvre efficace.

Ensuite, nous décrirons en détail les étapes que nous avons suivies pour mettre en place notre système, en mettant l'accent sur les outils logiciels utilisés et la méthodologie adoptée pour développer une application axée sur la détection des incendies. Cette implémentation repose sur des réseaux de capteurs sans fil spécifiquement conçus pour exploiter des systèmes à ressources limitées, intégrant un système d'exploitation léger et une station de base pour le traitement des données collectées et la gestion des alertes en cas d'incendie.

Le système comprend un nœud récepteur utilisant un Arduino comme unité centrale pour recevoir les données transmises par les nœuds capteurs via LoRa. Ce nœud récepteur supervise également les dispositifs de sortie tels que les LED et les buzzers pour signaler les événements détectés comme les alarmes incendie. Chaque nœud émetteur est stratégiquement positionné dans la forêt et communique avec le nœud récepteur via un

module LoRa. Ces nœuds émetteurs envoient régulièrement les données des capteurs ainsi que les alertes de détection de flammes, permettant une surveillance proactive des conditions environnementales critiques.

En conclusion, les réseaux de capteurs représentent une technologie robuste et adaptable, offrant des solutions innovantes pour la surveillance et la gestion d'événements critiques comme les incendies. Leur évolutivité et leur capacité à opérer dans des conditions variées en font des outils précieux pour divers domaines d'application, de la gestion de l'environnement à la sécurité industrielle.

Bibliographie

- [1] Kaissari, Soufiane. "Conception d'un Réseau de Capteurs sans fil," Mémoire de Master, Université Mohammed Ecole normale supérieure d'enseignement Technique ORL – Rabat, 2015/07/06.Consulté le 06 mai 2024.
- [2] Objets connectés (IoT) et protocoles de communication en agriculture, Publié le 17 mars 2023 Consulté le 7 mai 2024 depuis www.aspexit.com
- [3] Cherchour Narimane, Hocini Abdenour, " Couverture et connectivité dans un réseau de capteurs sans fil," Mémoire de Master, Département d'Informatique Université Abderrahmane Mira Bejaia (Algérie), 2014
- [4] Copyright 2013, Rémy Hubscher. "Concepts de base des réseaux sans fil". Disponible sur <http://zigbee.readthedocs.io/fr/latest/reseaux-sans-fil.html> .Revision 900e4d44,2013.
- [5] Mohammadi Zanjireh, Morteza , Larijani, Hadi et Popoola, Wasii. (2014). Activity-aware Clustering Algorithm for Wireless Sensor Networks. 10.13140/2.1.3048.2569
- [6] <https://elearning-facsci.univ-annaba.dz/mod/resource/view.php?id=743/>
- [7] Adel CHOUHA, "Traitement et Transfert d'images Par Réseau de Capteurs sans Fil," Magistère en Informatique, Département d'Informatique Université Hadj Lakhder – Batna (Algérie) ,2011
- [8] Mazari Mahdi, Hassoun Samy, "MAISON CONNECTÉE BASÉE SUR GOOGLE ASSISTANT," Mémoire de Master, Département Informatique Université Mouloud Mammeri De Tizi-Ouzou (Algérie), 2020
- [9] Réseaux de capteurs sans Fil, depuis staff.univ-batna2.dz
- [10] SARI Mounya Amal, "Etude du RSSI pour l'estimation de la distance dans les reseaux de capteurs sans fil", Mémoire de Master, Département d'Informatique Université Abou Bakr Belkaid–Tlemcen (Algérie), Présenté le 12 Juin 2017
- [11] Qu'est-ce que le modèle OSI et ses 7 couches. (2024). Consulté le 10 Juin 2024 depuis www.perimeter81.com/fr/glossary/modele-osi
- [12] Bendjeddou Amira, " Prolongation de la Durée de Vie des Batteries dans les Réseaux de Capteurs Sans Fil (RCSF)," Présenté en vue de l'obtention du diplôme de Doctorat 3^{ème} Cycle LMD, Département d'Informatique Université de Badji Mokhtar - Annaba (Algérie), 2015
- [13] <https://ccnareponses.com/introduction-aux-reseaux-modules-14-couche-de-transport/>
- [14] Chapitre01-RCSF.pdf, Créé : 14/11/2018, Modifié le : 14/12/2020 .Consulté le 8

Juin 2024 depuis elearning-facsci.univ-annaba.dz/mod/resource/view.php?id=743

[15] from elearning-facsci.univ-annaba.dz/mod/resource/view.php?id=743

[16] Abdel Hadi Hobballah. Conception et réalisation de systèmes de récupération et de transfert d'énergie électromagnétique pour l'autonomie des nœuds communicants de réseaux de capteurs sans fil. Electronique. Université de Limoges, 2022. Français

[17] Mohamed SRIDI, "Développement d'un système d'alimentation d'un nœud de capteur sans fils à partir d'un récupérateur piézoélectrique pour des applications dans l'automobile," Mémoire de maîtrise, Département de génie mécanique Université De Sherbrooke (Canada), Décembre 2014

[18] Hadjaz Imane, " Conception Et Realisation D'un Reseau De Capteurs Sans Fils Application : Agriculture De Precision," Mémoire de Master, Département d'Electronique Univesite Mouloud Mammeri De Tizi Ouzou (Algérie), Décembre 2016

[19] Site officiel : www.arduino.cc

[20] <https://images.app.goo.gl/mEn27GU34kzse1Rs8>

[21] <https://how2electronics.com/sending-sensor-data-lora-sx1278-arduino/>

[22] <https://youpilab.com>

[23] <https://www.lenovo.com/us/en/glossary/power-bank/?orgRef=https%253A%252F%252Fwww.google.com%25>

Annexes

Algorithme d'application

Partie d'émetteur :

Nœud 1 :

```
#include <SPI.h>
#include <LoRa.h>

#define FLAME_PIN 3      // Broche numérique connectée au capteur de flamme

#define SS_PIN 10       // Broche SS de la radio LoRa
#define RST_PIN 9       // Broche de réinitialisation de la radio LoRa
#define DI0_PIN 2       // Broche connectée à l'interruption du module LoRa

#define FREQUENCY 433E6 // Fréquence du module LoRa

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  pinMode(FLAME_PIN, INPUT_PULLUP); // Supposant que le capteur de flamme donne
  HIGH lorsqu'une flamme est détectée

  LoRa.setPins(SS_PIN, RST_PIN, DI0_PIN);

  if (!LoRa.begin(FREQUENCY)) {
    Serial.println("Échec de l'initialisation de LoRa. Vérifiez vos
connexions.");
    while (true);
  }
  Serial.println("Initialisation de LoRa réussie.");
}

void loop() {
  int flameValue = digitalRead(FLAME_PIN); // Lire la valeur du capteur de
  flamme
  String message;

  if (flameValue == HIGH) {
    message = "Aucune flamme détectée";
  } else {
    message = "Flamme détectée";
  }

  // Afficher le message sur le moniteur série
  Serial.println(message);

  // Envoyer le message via LoRa avec l'identifiant 1
  String sensorData = "1," + message;
```

```

    LoRa.beginPacket();
    LoRa.print(sensorData);
    LoRa.endPacket();

    delay(1000); // Délai de 1,5 secondes entre les lectures pour éviter les
collisions
}
Nœud 2 :
#include <SPI.h>
#include <LoRa.h>
#include <DHT.h>

#define DHTPIN 6 // Broche connectée au capteur DHT11
#define DHTTYPE DHT11 // DHT 11

#define SS_PIN 10 // Broche SS de la radio LoRa
#define RST_PIN 9 // Broche de réinitialisation de la radio LoRa
#define DI0_PIN 2 // Broche connectée à l'interruption du module LoRa

#define FREQUENCY 433E6 // Fréquence du module LoRa

DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE);

void setup() {
    Serial.begin(9600);
    dht.begin();

    LoRa.setPins(SS_PIN, RST_PIN, DI0_PIN);

    if (!LoRa.begin(FREQUENCY)) {
        Serial.println("LoRa init failed.");
        while (true);
    }
    Serial.println(" LoRa init succeeded.");
}

void loop() {
    float temperature = dht.readTemperature(); // Lire la température du DHT11
    float humidity = dht.readHumidity(); // Lire l'humidité du DHT11

    // Afficher les valeurs des capteurs sur le moniteur série
    Serial.print("Temperature: ");
    Serial.print(temperature);
    Serial.print("\tHumidity: ");
    Serial.print(humidity);
    Serial.println("%");

    // Envoyer les données des capteurs via LoRa avec l'identifiant 2

```

```

String sensorData = "2," + String(temperature) + "," + String(humidity);
LoRa.beginPacket();
LoRa.print(sensorData);
LoRa.endPacket();

delay(1000); // Délai de 1 seconde entre les lectures
}

```

Partie de récepteur :

```

#include <SPI.h>
#include <LoRa.h>

#define LED_PIN 3 // Broche de la LED
#define BUZZER_PIN 6 // Broche du buzzer

#define SS_PIN 10 // Broche SS de la radio LoRa
#define RST_PIN 9 // Broche de réinitialisation de la radio LoRa
#define DI0_PIN 2 // Broche connectée à l'interruption du module LoRa

#define FREQUENCY 433E6 // Fréquence du module LoRa

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  pinMode(LED_PIN, OUTPUT);
  pinMode(BUZZER_PIN, OUTPUT);

  LoRa.setPins(SS_PIN, RST_PIN, DI0_PIN);

  if (!LoRa.begin(FREQUENCY)) {
    Serial.println("LoRa init failed.");
    while (true);
  }
  Serial.println("LoRa init succeeded.");
}

void loop() {
  // Vérifier les paquets entrants
  int packetSize = LoRa.parsePacket();
  if (packetSize) {
    // Paquet reçu
    String receivedData = "";
    while (LoRa.available()) {
      receivedData += (char)LoRa.read();
    }

    // Diviser les données reçues
    int commaIndex = receivedData.indexOf(',');

    // Extraire l'ID de l'expéditeur et le message

```

```

String senderID = receivedData.substring(0, commaIndex);
String message = receivedData.substring(commaIndex + 1);

// Afficher le message sur le moniteur série
Serial.print("ID de l'expéditeur: ");
Serial.print(senderID);
Serial.print("\tMessage: ");
Serial.println(message);

// Vérifier si une flamme est détectée
if (message == "Flamme détectée") {
    digitalWrite(LED_PIN, HIGH);    // Allumer la LED
    digitalWrite(BUZZER_PIN, HIGH); // Activer le buzzer
    delay(4000);                    // Maintenir la LED et le buzzer allumés
pendant 4 secondes
    digitalWrite(LED_PIN, LOW);     // Éteindre la LED
    digitalWrite(BUZZER_PIN, LOW);  // Désactiver le buzzer
}
}

```

