



Université ABBES LAGHROUR Khenchela
Faculté des Sciences et de la Technologie
Département de Génie Industriel
جامعة عباس لغرور خنشلة
كلية العلوم والتكنولوجيا
قسم الهندسة الصناعية



N° Série :

Mémoire de fin d'étude

Pour l'obtention du diplôme de Master

Filière : Télécommunications

Spécialité : Systèmes des Télécommunications

THEME

**Détection des incendies des forêts par le
suivi de mouvement des animaux basés
sur la technologie de l'internet des objets
(IoT)**

Réalisé par : - Nourelhouda M'HALAINE

- Hanane REZGUI

Soutenu le 19 / 06/2023 *Devant le jury composé de :*

Dr. Malika MEDJALDI

Présidente

Université Abbes Laghrour-Khenchela

Dr. Farouk BOUMEHREZ

Encadreur

Université Abbes Laghrour-Khenchela

Dr. Abdelhakim SAHOUR

Co-Encadreur

Université Abbes Laghrour-Khenchela

Dr. Moustafa BOURAS

Examineur

Université Abbes Laghrour-Khenchela

Promotion 2022/2023

بِسْمِ اللّٰهِ الرَّحْمٰنِ الرَّحِیْمِ

وَالصَّلَاةِ وَالسَّلَامِ

عَلَى مُحَمَّدٍ سَيِّدِ الْمُرْسَلِينَ وَعَلَى آلِهِ وَصَحْبِهِ أَجْمَعِينَ لِيَوْمِ الدِّينِ

DÉDICACE

Je dédie cet humble travail :

**À Mes chers parents. Je leur souhaite une bonne santé
et Longue vie.**

À toute ma famille Rezgui et mes proches

**À tous les professeurs, en particulier mon professeur Boumherz Farouk et mes chers amis et
collègues.**

Tous ceux qui m'ont enseigné tout au long de ma vie universitaire :

À tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réussite de ce projet.

Je vous dis merci

Hannane

DÉDICACE

Je tiens à dédier ce mémoire à toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à sa réalisation.

À ma famille, pour leur amour, leur soutien inconditionnel et leur encouragement tout au long de ce parcours académique. Votre confiance en moi a été une source d'inspiration et de motivation.

À mes amis, pour leur présence, leurs encouragements et leur soutien moral.

Vos encouragements chaleureux m'ont donné la force de persévérer et de surmonter les obstacles.

À mes professeurs et encadrants, pour leur expertise, leurs conseils précieux et leur engagement dans mon développement académique. Votre patience et votre guidage ont été essentiels pour la réussite de ce travail de recherche.

HOUDA

REMERCIEMENT

Nous tenons à remercier notre Dieu, le tout puissant, de nous avoir permis d'arriver à ce niveau d'étude, et aussi pour nous avoir donné beaucoup de patience, de courage et de la volonté pour réaliser ce modeste travail.

Nous tenons à exprimer nos profondes gratitude et nos vifs remerciements à notre Encadreur monsieur Boumehrez Farouk et Co-encadreur monsieur Sahour Abdelhakim , pour leur patience, et surtout pour leur confiance, leurs remarques et conseils, leur disponibilité et bienveillance. Aux Nous tenons notamment, à adresser l'expression de nos sincères reconnaissances membres du jury d'examen, pour l'Intérêt qu'ils ont porté à ce travail.

Nous voudrions également remercier nos enseignants qui nous ont encadrés pendant Nos études à l'université de Abbès laghrour khenchela . Nous tenons aussi à remercier tous nos amis et Collègues pour leur soutien Inestimable.

Un grand merci à nos familles, en particulier nos parents qui nous font une confiance et un amour inconditionnels et qui nous ont toujours soutenues dans ce que nous entreprenions. Nous vous remercions et nous vous saurions éternellement reconnaissant

Enfin nous remercions tous ceux qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de Ce mémoire.

"اللهم علمنا ما ينفعنا وانفعنا بما علمتنا وزدنا علما"

ملخص:

يهدف عملنا إلى اظهار اهمية استخدام استخدام شبكات الاستشعار في الكشف عن حرائق الغابات في سياق إنترنت الأشياء (IoT). من اجل ذلك قمنا بتحليل تحركات الحيوانات كمؤشر محتمل لهذا الكشف، من خلال استغلال قدرات الاتصال وجمع البيانات لشبكات الاستشعار. الهدف الرئيسي من دراستنا هو تحديد ما إذا كان استغلال حركة الحيوانات مع دمج تقنيات إنترنت الأشياء, يمكن أن يلعب دورا هاما في الوقاية من الحرائق. تظهر نتائج دراستنا العملية، اين تم وضع أجهزة استشعار في غابة ، جدوى نهج إنترنت الأشياء لدينا. أبرزت البيانات التي تم جمعها، والتي تمت معالجتها باستخدام برنامج Arduino ، وجود علاقة مباشرة بين تحركات الحيوانات والكشف عن حرائق الغابات.

الكلمات المفتاحية: إنترنت الأشياء، شبكات الاستشعار، أردوينو، حركة الحيوانات.

Abstract:

Our thesis aims to explore the use of sensor networks in forest fire detection in the context of the Internet of Things (IoT). The issue addressed concerns the analysis of animal movements as a potential indicator for this detection, by exploiting the communication and data collection capabilities of sensor networks. The main objective of our study is to determine whether the exploitation of these movements, combined with IoT technologies, can play an important role in fire prevention. The results of our hands-on study, where sensors were placed in a forest, demonstrate the feasibility of our IoT approach. The data collected, processed using the Arduino program, and highlighted a direct relationship between animal movements and the detection of forest fires.

Key-words : Internet of Things (IoT), sensor networks, Arduino, animal movements.

Résumé :

Notre mémoire explore l'utilisation des réseaux de capteurs dans la détection des incendies de forêt dans le contexte de l'Internet des objets (IoT). La problématique abordée concerne l'analyse des mouvements d'animaux en tant qu'indicateur potentiel pour cette détection, en exploitant les capacités de communication et de collecte de données des réseaux de capteurs. L'objectif principal de notre étude est de déterminer si l'exploitation de ces mouvements, combinée aux technologies IoT, peut jouer un rôle important dans la prévention des incendies. Les résultats de notre étude pratique, où des capteurs ont été placés dans une forêt, démontrent la faisabilité de notre approche IoT. Les données collectées, traitées à l'aide du programme Arduino, ont permis de mettre en évidence une relation directe entre les mouvements des animaux et la détection des incendies de forêt.

Mots clé : Internet des objets, réseaux de capteurs, Arduino, mouvements d'animaux.

LISTE DES ABBREVIATIONS

APTEEN	Adaptive Periodic Threshold-sensitive Energy Efficient sENsor network protocol
ARQ	Automatic Repeat Request
AODV	Ad hoc On-Demand Distance Vector
BLE	Bluetooth Low Energy
CSMA	Carrier Sense Multiple Access
CSMA/CA	Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance
CSMA/CD	Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection
CoAP	Constrained Application Protocol
DBF	Distributed Bellman-Ford
DSR	Dynamic Source Routing
DSDV	Destination Sequenced Distance Vector
GND	Ground
GPS	Global Positioning System
GPSR	Greedy Perimeter Stateless Routing
GSR	Global State Routing
GPIO	General-Purpose Input/Output
HTML	HyperText Markup Language
I2C	Inter-Integrated Circuit
ICSP	In-Circuit Serial Programming
IDE	Environnement de développement intégré
IOT	L'Internet des objets
LED	Light Emitting Diode
MEMS	Microelectromechanical Systems
MQTT	Message Queuing Telemetry Transport
MySQL	Structured Query Language
OS	Operating System
OLSR	Optimized Link State Routing
PEGASIS	Power Efficient Gathering in Sensor Information Systems
PHP - PHP:	Hypertext Preprocessor

Perl	Practical Extraction and Reporting Language
SAR	Sequential Assignment Routing
SDA	Serial Data Line
SCL	Serial Clock Line
SCLK	Serial Clock
SGBD	Système de gestion de base de données
SGBDR	Système de Gestion de Base de Données Relationnelles
SPI	Serial Peripheral Interface
SRAM	Static Random-Access Memory
SQL	Structured Query Language
SPIN	Sensor Protocols for Information via Negotiation
TCP	Transmission Control Protocol
TEEN	Threshold sensitive Energy Efficient sensor Network protocol
UART	Universal Asynchronous Receiver-Transmitter
USB	Universal Serial Bus
VDD	Voltage Drain to Drain
XCTU	Xbee Configuration and Test Utility

LISTE DES FIGURES

Figure I.1 réseau de capteurs sans fil.....	3
Figure I.2 Anatomie d'un noeud capteur.....	5
Figure I.3 La pile protocolaire dans les réseaux de capteurs.....	9
Figure I.4 Application militaire.....	10
Figure I.5 Application de la sante.....	10
Figure I.6 Application de transport.....	11
Figure I.7 Système de surveillance des forêts.....	12
Figure I.8 Surveillance des serres agricoles.....	13
Figure I.9 Irrigation.....	13
Figure II.1 classification des protocoles de routage pour les réseaux de capteurs.....	17
Figure II.2 Routage plat.....	17
Figure II.3 Routage hiérarchique.....	18
Figure II.4 Routage base sur la localisation.....	19
Figure II.5 Routage hiérarchique basé sur le clustering.....	20
Figure II.6 Routage hiérarchique basé sur le clustering.....	21
Figure II.7 Le groupement hiérarchique dans TEE et APTEEN.....	22
Figure II.8 Fonctionnement de la procédure de demande de route dans AODV.....	22
Figure II.9 Fonctionnement du protocole SPIN.....	23
Figure II.10 Diffusion pure et diffusion en utilisant les MPRs dans OLSR.....	24
Figure III.1 Architecture actuelle et future de l'IoT.....	27
Figure III.2 IoT Aujourd'hui.....	30
Figure III.3 Domains d'application de l'IOT.....	30
Figure III.4 Les protocoles de communication pour l'IOT.....	32
Figure III.5 COAP.....	32
Figure III.6 Zigbee.....	33
Figure III.7 Bluetooth.....	33
Figure III.8 LORa WAN.....	33
Figure III.9 Sigfox.....	33
Figure III.10 La sécurité dans l'IOT.....	36

Figure IV.1 La Carte Arduino.....	38
Figure IV.2 Constitution de la carte Arduino UNO.....	41
Figure IV.3 Schéma général illustrant le travail réalisé.....	43
Figure IV.4 Capteur accéléromètre.....	43
Figure IV.5 capture Accéléromètres piézoélectriques.....	44
Figure IV.6 Capture Accéléromètres capacitifs.....	44
Figure IV.7 capture Accéléromètres MEMS.....	45
Figure IV.8 Interface Arduino IDE.....	45
Figure IV.9 Mémoriser une bibliothèque Arduino ADXL345.....	46
Figure IV.10 .Bibliothèque Unified sensor.....	46
Figure IV.11 capture d'écran du code.....	46
Figure IV.12 Schéma de câblage.....	47
Figure 4.13 capture d'écran de la valeur d'accélération La bibliothèque convertit la sortie en m/s2 au lieu d'unités	47
Figure 4.14 Module Xbee pro.....	48
Figure 4.15 Capture d'écran de la base donnée dht11.....	50
Figure 4.16 Capture d'écran de la base donnée dht12.....	51
Figure IV.17 capture d'écran de le xampp.....	51
Figure IV.18 La carte Arduino Nano.....	53
Figure IV.19 Capture d'écran du code.....	54
Figure IV.20 Capture d'écran du code.....	54
Figure IV.21 Capture d'écran du code.....	55
Figure IV.22 Capture d'écran du code.....	55
Figure IV.23 Page de réception de dht11.....	56
Figure IV.24 Page de réception de dht12.....	56
Figure IV.25 Capture d'écran de la page de réception des données de DHT11.....	57
Figure IV.26 Capture d'écran de la page de réception des données de DHT12.....	57
Figure IV .27 capture d'écran de la base donnée crée dht11.....	58
Figure IV .28 capture d'écran de la base donnée crée dht12.....	58
Figure IV.29 Page home de l'interface graphique.....	59
Figure IV.30 Page home de l'interface graphique.....	59
Figure IV.31 page home du nœud.....	60
Figure IV.32 Page de la présentation graphique des données.....	60
Figure IV.33 Présentation numérique des données (dht11).....	61
Figure IV.34 Présentation numérique des données (dht12).....	61

TABLE DES MATIERES

Introduction générale.....	1
----------------------------	---

Chapitre I : Les réseaux de capteurs

I.1 Introduction.....	3
I.2 Définition des réseaux de capteurs.....	3
I.3 Importance des réseaux de capteurs.....	4
I.4 Caractéristiques des réseaux de capteurs.....	4
I.4.1 Nœuds capteurs.....	5
I.4.2 Communicabilité entre les nœuds.....	5
I.4.3 Alimentation électrique.....	6
I.4.4 Limitations de la bande passante.....	6
I.5 Architecture des réseaux de capteurs.....	6
I.5.1 Topologie.....	7
I.5.2 Schéma de communication.....	7
I.5.3 Protocoles de communication.....	8
I.5.4 Protocoles de communication couramment utilisés dans les réseaux de capteur.....	9
I.6 Applications des réseaux de capteurs.....	10
I.6.1 Surveillance des forêts.....	12
I.6.2 Surveillance des serres agricoles.....	12
I.6.3 Irrigation.....	13
I.7 Conclusion.....	14

Chapitre II : Routage dans les réseaux de capteurs

II.1 Introduction.....	16
II.2 Définition de routage.....	16
II.3 Définition de protocole.....	16
II.4 Les protocoles de routage proposé pour les RCSF.....	17
II.4.1 Le routage plat.....	17
II.4.2 Le routage hiérarchique.....	18
II.4.3 Le routage basé sur la localisation.....	19

II.5 Les Protocoles de routage dans les réseaux de capteurs.....	20
II.5.1 Protocoles de routage hiérarchiques	20
II.5.2 Protocoles de routage non hiérarchiques	22
II.5.3 Performances des protocoles de routage dans les réseaux de capteurs.....	24
II.6 Conclusion.....	25

Chapitre III : Internet des objets IOT

III.1 Introduction.....	27
III.2 Définition de l'IOT.....	27
III.3 Composantes de l'IoT.....	28
III.4 L'évolution de l'IOT.....	29
III.5 Domaines d'application de l'Internet des objets.....	30
III.6 Les avantages de l'IOT dans les réseaux de capteurs	31
III.7 Les protocoles de communication pour l'IOT	32
III.7.1 MQTT	32
III.7.2 CoAP	32
III.7.3 Zigbee	33
III.7.4 BLE.....	33
III.7.5 LoRaWAN.....	33
III.7.6 Sigfox.....	33
III.8 Les avantages et inconvénients des protocoles de communication pour l'IOT.....	34
III.9 La sécurité dans l'IOT	35
III.10 Conclusion.....	36

Chapitre IV : Conception et réalisation

IV.1 Introduction.....	38
IV.2 Description d'Arduino.....	38
IV.3 Composants d'Arduino.....	39
IV.4 Caractéristiques d'Arduino.....	39
IV.5.Applications d'Arduino.....	40
IV.6 Fonctionnement d'Arduino	40
IV.7 Spécifications d'Arduino.....	40
IV.8 La relation entre ARDUINO, IOT et les capteurs.....	41
IV.9 La détection des incendies de forêt à travers les mouvements des animaux et les réseaux de capteurs.....	42
IV.10 Capteur accéléromètre.....	43
IV.10.1 Caractéristiques	44

IV.10.2	Types	44
IV.10.3	Rôle	45
IV.11	Configuration de l'IDE Arduino	45
IV.12	XBee.....	47
IV.12.1	Description des modules XBee	47
IV.12.2	Configuration des modules XBee.....	48
IV.12.3	Intégration avec les capteurs de mouvement	48
IV.12.4	Transmission des données.....	48
IV.12.5	Sécurité des données.....	49
IV.12.6	Gestion de l'énergie.....	49
IV.13	base de données.....	49
IV.13.1	Composants d'une base de données.....	49
IV.13.2	XAMPP.....	51
IV.14	Arduino Nano.....	52
IV.15	Page de réception de dht11 et dht12.....	55
IV.16	partie serveur.....	56
IV.17	Page de réception.....	57
IV.18	Interface d'accès graphique.....	60
IV.19	Conclusion.....	63
	Conclusion générale.....	65
	Bibliographie.....	68

Introduction Générale

INTRODUCTION GENERALE

Au cours des dernières décennies, la nécessité d'observer, de surveiller à distance et de récupérer des données à partir d'environnements distribués complexes a augmenté rapidement, en particulier en raison des progrès des réseaux et des applications sans fil. En réponse à ces attentes, les réseaux de capteurs se sont imposés comme un nouveau domaine de recherche. Ces réseaux utilisant des nœuds de capteurs pour échanger des informations sur l'environnement observé et fournir une image complète de la zone surveillée.

L'objectif de ce mémoire de Master, intitulé "Détection des incendies des forêts par le suivi de mouvement des animaux basés sur la technologie de l'internet des objets (IoT)", est de développer un système efficace pour la détection précoce des incendies dans les forêts. Pour atteindre cet objectif, nous nous appuyons sur le suivi des mouvements des animaux à l'aide de capteurs IoT, qui sont stratégiquement positionnés dans la forêt.

Les animaux jouent un rôle crucial dans l'écosystème des forêts en tant qu'indicateurs de la santé des écosystèmes et de la biodiversité, tandis que la surveillance des incendies est d'une importance capitale pour la protection des forêts contre les dégâts causés par les incendies. Dans cette partie pratique de notre mémoire, nous allons étudier l'utilisation des réseaux de capteurs pour répondre à ces défis environnementaux spécifiques.

Nous nous concentrerons sur le développement d'un système de capteurs utilisant le programme Arduino. Ce système permettra de détecter les mouvements des animaux dans les forêts et de transmettre ces informations à un nœud central chargé de collecter et d'analyser les données. En utilisant des capteurs de mouvement spécifiques, nous serons en mesure de recueillir des données précises sur les déplacements des animaux, ce qui contribuera à une meilleure compréhension de leur comportement et de leur impact sur l'écosystème forestier.

L'utilisation des réseaux de capteurs pour surveiller les mouvements des animaux dans les forêts et détecter les incendies vise à renforcer notre compréhension des capacités et du potentiel de ces réseaux dans le domaine de la surveillance environnementale.

Les réseaux de capteurs sans fil et l'IoT jouent un rôle important dans notre vie quotidienne. Ces technologies permettent aux objets et aux appareils de se connecter sans fil et d'échanger des informations entre eux et avec un système central. La technologie de réseau de capteurs utilise des capteurs intégrés dans les appareils IoT pour collecter des données de l'environnement. Le routage au sein du réseau d'acquisition achemine ensuite ces données vers la destination appropriée. Dans

notre vie quotidienne, ces technologies sont utilisées pour la domotique pour automatiser les appareils électroménagers, la santé pour suivre l'activité physique et la santé, la gestion de l'énergie pour optimiser la consommation, les villes intelligentes pour améliorer les services urbains, et les villes intelligentes pour la logistique. Utilisées dans l'industrie. En résumé, les réseaux de capteurs sans fil et l'IoT facilitent la connectivité et la communication entre les objets, apportant de grands avantages à de nombreux aspects de notre vie quotidienne.

Le premier chapitre de notre mémoire fournit une description synthétique des réseaux de capteurs, en mettant l'accent sur leurs caractéristiques, leur architecture et leurs contraintes. Il explore également les différentes applications des réseaux de capteurs, telles que la surveillance des forêts, la surveillance des serres agricoles, l'irrigation, et bien d'autres. Cette première partie nous permet de situer notre étude dans le contexte des réseaux de capteurs et de comprendre leur importance dans divers domaines.

Le deuxième chapitre se concentre sur le routage dans les réseaux de capteurs sans fil, qui est un processus crucial pour acheminer les données collectées vers leur destination finale. Nous y examinons les différents protocoles de routage existants et les critères d'évaluation à prendre en compte, tels que la latence, la consommation d'énergie, la qualité de service, la fiabilité et la stabilité du réseau. L'objectif est de sélectionner et d'évaluer les protocoles de routage appropriés pour garantir l'efficacité et la stabilité des réseaux de capteurs.

Le troisième chapitre aborde l'Internet des objets (IoT) dans le contexte des réseaux de capteurs sans fil. Nous y examinons les composantes de l'IoT, ses applications dans les réseaux de capteurs sans fil, les protocoles de communication associés et les questions de sécurité qui y sont liées. Cela nous permet de comprendre comment l'IoT peut être utilisé pour améliorer les performances des réseaux de capteurs et les applications auxquelles ils sont destinés.

Dans le quatrième chapitre, nous passons à la partie pratique de notre étude. Nous nous intéressons spécifiquement à l'utilisation des réseaux de capteurs pour surveiller les mouvements des animaux dans les forêts et détecter les incendies.

Enfin, les résultats de cette étude permettront de démontrer l'efficacité et l'importance de l'approche basée sur la technologie de l'internet des objets pour la détection des incendies des forêts.

CHAPITRE I

les réseaux de capteurs

I.1 Introduction

Les réseaux de capteurs sont devenus un sujet de recherche clé ces dernières années en raison de leur capacité à collecter, traiter et transmettre des données à distance dans un environnement complexe et distribué. Les réseaux de capteurs se composent de nœuds capteurs, qui sont reliés entre eux pour échanger des informations sur l'environnement observé. Les réseaux de capteurs sont largement utilisés dans divers domaines tels que la surveillance des forêts, la surveillance des serres agricoles, l'irrigation et bien d'autres encore.

Le but de ce chapitre est de fournir une description synthétique des réseaux de capteurs en termes de leurs caractéristiques, de leur architecture et de leurs contraintes. Nous examinerons également les différents types de réseaux de capteurs, leur fonctionnement et leurs avantages par rapport à d'autres types de réseaux. Enfin, nous explorerons les différentes applications des réseaux de capteurs afin de donner une compréhension de base des réseaux de capteurs pour la suite du mémoire.

I.2 Définition des réseaux de capteurs

Les réseaux de capteurs sont des réseaux décentralisés composés de nœuds capteurs qui sont conçus pour collecter, traiter et transmettre des données à distance. Chaque nœud capteur est équipé de capteurs qui mesurent des données environnementales telles que la température, l'humidité, la pression, la lumière, etc. Les nœuds capteurs transmettent ensuite les données collectées à d'autres nœuds ou à un nœud central pour le traitement et l'analyse. Les réseaux de capteurs sont souvent utilisés dans des environnements difficiles à atteindre ou dangereux pour les humains, tels que les zones forestières ou les fonds marins, ce qui les rend très utiles pour la surveillance et la collecte de données à distance.

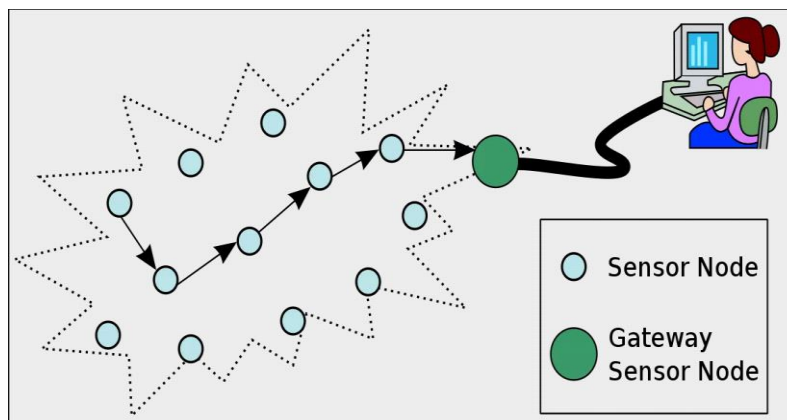


Figure I.1 réseau de capteurs sans fil

I.3 Importance des réseaux de capteurs

Les réseaux de capteurs sont importants pour plusieurs raisons :

- **Collecte de données à distance** : Les réseaux de capteurs permettent la collecte de données à distance dans des environnements difficiles à atteindre ou dangereux pour les humains, ce qui est très utile pour la surveillance et la collecte de données en temps réel.
- **Économie d'énergie** : Les réseaux de capteurs utilisent une énergie limitée pour fonctionner, ce qui les rend plus économiques et plus fiables que d'autres technologies de collecte de données.
- **Amélioration de la précision** : Les réseaux de capteurs permettent de collecter des données en temps réel à partir de plusieurs sources, ce qui améliore la précision des données collectées.
- **Application dans de nombreux domaines** : Les réseaux de capteurs peuvent être utilisés dans de nombreux domaines, tels que la surveillance des forêts, la surveillance des serres agricoles, l'irrigation, la santé, etc.

En résumé, les réseaux de capteurs sont importants pour la collecte de données à distance, l'économie d'énergie, l'amélioration de la précision et leur application dans de nombreux domaines.

I.4 Caractéristiques des réseaux de capteurs

Les réseaux de capteurs présentent les caractéristiques suivantes :

Nombre élevé de nœuds : Les réseaux de capteurs sont constitués d'un grand nombre de nœuds, pouvant aller de quelques dizaines à plusieurs milliers.

Communication sans fil : Les nœuds des réseaux de capteurs communiquent entre eux par des ondes radio, ce qui permet une grande flexibilité et une faible consommation d'énergie.

Faible puissance de traitement : Les nœuds des réseaux de capteurs sont généralement équipés de processeurs peu puissants, ce qui permet de réduire leur coût et leur consommation d'énergie.

Faible capacité de stockage : Les nœuds des réseaux de capteurs disposent d'une mémoire limitée, ce qui impose des contraintes sur la taille des messages échangés et sur les protocoles de communication.

Hétérogénéité des nœuds : Les nœuds des réseaux de capteurs peuvent être de tailles et de capacités différentes, ce qui nécessite des protocoles de communication adaptatifs et des mécanismes de gestion de l'énergie.

Déploiement dans des environnements hostiles : Les réseaux de capteurs sont souvent déployés dans des environnements hostiles, tels que des zones inaccessibles ou dangereuses, ce qui impose des contraintes sur la robustesse et la sécurité des réseaux.

Objectif de surveillance : Les réseaux de capteurs sont généralement utilisés pour surveiller un environnement donné, en collectant des données sur des phénomènes physiques tels que la température, l'humidité, la pression, etc.

En résumé, les réseaux de capteurs sont des réseaux sans fil à faible coût, à faible consommation d'énergie et à capacités de stockage et de traitement limitées, utilisés pour surveiller des environnements physiques. Ces caractéristiques spécifiques imposent des contraintes et des défis particuliers en matière de conception, de déploiement et de gestion des réseaux de capteurs.

I.4.1 Nœuds capteurs

Les nœuds capteurs sont les composants de base des réseaux de capteurs. Ils sont responsables de la détection des événements dans l'environnement, de la collecte de données et de leur transmission vers d'autres nœuds du réseau ou vers une base de données centrale. Les nœuds capteurs sont généralement équipés de capteurs, d'un processeur, d'une mémoire, d'une batterie et d'un émetteur-récepteur sans fil. Les caractéristiques et les fonctionnalités de chaque nœud dépendent de l'application spécifique pour laquelle il est conçu. Les nœuds capteurs peuvent être déployés de manière décentralisée pour surveiller une grande zone ou concentrés dans une petite zone pour une observation plus détaillée.

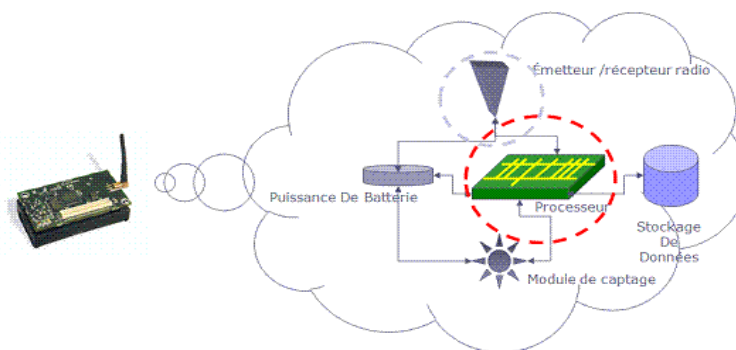


Figure I.2 Anatomie d'un nœud capteur

I.4.2 Communicabilité entre les nœuds

La communicabilité entre les nœuds est un aspect crucial pour le fonctionnement des réseaux de capteurs. Les nœuds doivent être en mesure de communiquer entre eux afin de partager les données et d'échanger des informations sur leur fonctionnement et leur santé. La communicabilité peut être établie à l'aide de différentes technologies sans fil, telles que Zigbee, Bluetooth, WiFi ou NFC. La distance de transmission dépend de la technologie utilisée et de la puissance de transmission. Les nœuds peuvent également être connectés en utilisant des technologies de communication filaires

telles qu'Ethernet. La communicabilité peut être influencée par des facteurs tels que les obstacles physiques, le bruit électrique et la saturation du canal. Les réseaux de capteurs doivent donc être conçus pour minimiser les perturbations et assurer une bonne qualité de communication entre les nœuds.[1]

I.4.3 Alimentation électrique

L'alimentation électrique est un autre aspect crucial pour les réseaux de capteurs. Les nœuds capteurs sont souvent déployés dans des endroits difficiles d'accès et peuvent être requis pour fonctionner pendant des périodes prolongées sans maintenance. Les nœuds doivent donc être conçus pour fonctionner avec une source d'alimentation limitée, généralement une batterie. Les méthodes d'alimentation alternatives telles que les panneaux solaires peuvent être utilisées pour prolonger la durée de vie de la batterie. La durée de vie de la batterie dépend de la consommation d'énergie de chaque nœud, qui dépend à son tour de la fréquence à laquelle les données sont collectées et transmises, ainsi que de la puissance de traitement et de communication. Il est donc important de concevoir les nœuds capteurs de manière à minimiser la consommation d'énergie et à optimiser l'efficacité énergétique.

I.4.4 Limitations de la bande passante

La bande passante est une limitation importante pour les réseaux de capteurs. La bande passante disponible est souvent limitée en raison de la quantité de données transmises par les nœuds capteurs. Les données doivent être compressées et agrégées pour maximiser l'utilisation de la bande passante disponible. De plus, les réseaux de capteurs sont souvent déployés dans des environnements difficiles, tels que les forêts ou les zones industrielles, ce qui peut entraîner des obstacles physiques qui affectent la qualité de la transmission de données. Il est donc important de concevoir les réseaux de capteurs de manière à minimiser les pertes de données en transmettant les données de manière fiable.

I.5 Architecture des réseaux de capteurs

L'architecture d'un réseau de capteurs est déterminée par la manière dont les nœuds capteurs sont reliés et organisés pour communiquer entre eux. Il existe plusieurs architectures de réseaux de capteurs, notamment les réseaux en étoile, les réseaux en anneau et les réseaux en étoile avec anneau.

- Les réseaux en étoile ont un nœud central qui reçoit les données des nœuds capteurs et les transmet vers le système de collecte de données.
- Les réseaux en anneau ont une architecture où les nœuds capteurs communiquent entre eux en formant une boucle, permettant ainsi la transmission de données dans les deux sens.

- Les réseaux en étoile avec anneau utilisent une combinaison des deux architectures en utilisant un nœud central pour la transmission de données vers le système de collecte de données et des anneaux pour la communication entre les nœuds capteurs.

L'architecture choisie dépend des besoins spécifiques du réseau, tels que la portée, la fiabilité, la capacité de traitement et la consommation d'énergie.

I.5.1 Topologie

La topologie est la manière dont les nœuds capteurs sont reliés entre eux dans un réseau de capteurs. Il existe plusieurs topologies de réseaux de capteurs, telles que la topologie en grille, la topologie en arbre et la topologie en bus.

- **La topologie en grille** est une configuration en forme de grille où les nœuds capteurs sont connectés à leurs voisins directs. Cette topologie est souvent utilisée lorsque la couverture de la zone surveillée est importante.
- **La topologie en arbre** est une configuration où les nœuds capteurs sont organisés en forme d'arbre, avec un nœud central relié à d'autres nœuds qui à leur tour sont reliés à d'autres nœuds, etc. Cette topologie est souvent utilisée pour les applications nécessitant une couverture moins dense.
- **La topologie en bus** est une configuration où les nœuds capteurs sont connectés en série les uns après les autres, comme un bus de données. Cette topologie est souvent utilisée pour les applications nécessitant une couverture minimale de la zone surveillée.

La topologie choisie dépend des besoins spécifiques du réseau, tels que la portée, la fiabilité, la capacité de traitement et la consommation d'énergie [2].

I.5.2 Schéma de communication

Le schéma de communication est un plan de la manière dont les données sont transmises dans un réseau de capteurs. Il décrit les étapes nécessaires pour collecter les données à partir des nœuds capteurs, les stocker et les transmettre vers un nœud central pour analyse et traitement.

Les schémas de communication dans les réseaux de capteurs peuvent varier en fonction des applications et des exigences en matière de bande passante, de consommation d'énergie et de sécurité.

Certains des schémas de communication les plus couramment utilisés incluent :

- **Émission de données** : les nœuds capteurs envoient directement les données à un nœud central ou à un autre nœud capteur.

- **Routage basé sur l'énergie** : les données sont transmises d'un nœud à un autre en fonction de la quantité d'énergie restante de chaque nœud.
- **Routage basé sur le contenu** : les données sont transmises d'un nœud à un autre en fonction de la pertinence du contenu de la donnée pour la région surveillée.
- **Routage multi-critère** : les données sont transmises en fonction d'un certain nombre de critères tels que la distance, la quantité d'énergie restante, la pertinence du contenu de la donnée, etc.

Le schéma de communication choisi dépend des besoins et des contraintes du réseau, ainsi que des objectifs de l'application. Il est important de choisir un schéma de communication efficace pour garantir la qualité et la fiabilité des données transmises dans le réseau.

I.5.3 Protocoles de communication

Les protocoles de communication dans les réseaux de capteurs sont les règles et les algorithmes qui permettent à chaque nœud capteur de transmettre et de recevoir des données de manière cohérente et fiable. Les protocoles de communication dans les réseaux de capteurs peuvent inclure la découverte de voisinage, la synchronisation de l'horloge, la mise en place de routes, la transmission de données, la détection de faute et la récupération de la qualité de service. Certains des protocoles les plus couramment utilisés dans les réseaux de capteurs sont :

- **Protocoles de couche MAC** : les protocoles de couche MAC régulent l'accès des nœuds capteurs au canal de transmission sans fil. Les protocoles MAC les plus couramment utilisés dans les réseaux de capteurs incluent le protocole CSMA (Carrier Sense Multiple Access) et ses variantes, tels que CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance) et CSMA/CD (Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection).
- **Protocoles de couche liaison de données** : les protocoles de couche liaison de données sont utilisés pour assurer la transmission fiable des données sur le lien sans fil entre les nœuds capteurs. Les protocoles de couche liaison de données les plus couramment utilisés dans les réseaux de capteurs incluent le protocole ARQ (Automatic Repeat Request) et ses variantes, tels que le protocole de retransmission sélective.
- **Protocoles de couche réseau** : les protocoles de couche réseau sont utilisés pour acheminer les données de manière efficace et fiable entre les nœuds capteurs. Les protocoles de couche réseau les plus couramment utilisés dans les réseaux de capteurs incluent le protocole AODV (Ad hoc On-Demand Distance Vector), le protocole DSR (Dynamic Source Routing) et le protocole OLSR (Optimized Link State Routing).

- **Protocoles de couche transport** : les protocoles de couche transport sont utilisés pour assurer la livraison fiable des données à la destination finale en cas de perte de paquets ou de congestion du réseau. Les protocoles de couche transport les plus couramment utilisés dans les réseaux de capteurs incluent le protocole TCP (Transmission Control Protocol) et ses variantes, tels que TCP-Like et TinyTCP [3].

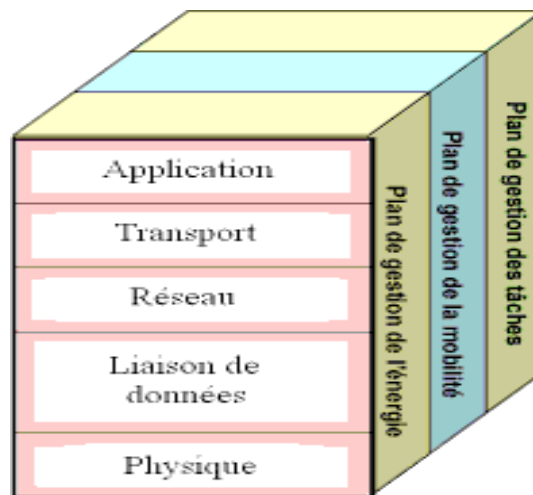


Figure I.3 La pile protocolaire dans les réseaux de capteurs

I.5.4 Protocoles de communication couramment utilisés dans les réseaux de capteurs :

- Protocole de Contrôle d'Accès au Média (MAC) : Ce protocole définit la manière dont les nœuds capteurs accèdent au support de transmission pour transmettre des données. Il peut inclure la planification des accès, la gestion des collisions et la détection des erreurs.
- Protocole de Routing : Ce protocole définit la façon dont les données sont acheminées de manière efficace à leur destination à travers le réseau. Il peut inclure la détermination des chemins, la mise à jour de la table de routage et la gestion des erreurs de transmission.
- Protocole de Synchronisation : Ce protocole synchronise les nœuds capteurs en matière de temps et d'horloge, ce qui est important pour la mise en œuvre efficace des applications de réseaux de capteurs.
- Protocole de Transport : Ce protocole fournit des services de transmission fiables pour les applications de niveau supérieur telles que la collecte de données, la surveillance et la détection d'événements.
- Protocole de Sécurité : Ce protocole garantit la confidentialité, l'intégrité et l'authenticité des données transmises à travers le réseau de capteurs. Il peut inclure la cryptographie, la signature numérique et l'authentification.

Notez que ces protocoles sont souvent utilisés de manière combinée pour fournir une solution complète pour les réseaux de capteurs.

I.6 Applications des réseaux de capteurs

Les réseaux de capteurs sont utilisés dans de nombreux domaines, notamment :

- **Surveillance environnementale** : les capteurs peuvent surveiller les conditions météorologiques, la qualité de l'air et de l'eau, la végétation, etc.
- **Domaine militaire** : les réseaux de capteurs peuvent être utilisés pour la surveillance de la frontière, la détection de mouvements ennemis et la reconnaissance des cibles.



Figure I.4 Application militaire

- **Santé** : les capteurs peuvent être utilisés pour surveiller les patients, les données biomédicales et les signes vitaux.



Figure I.5 Application de la santé

- **Agriculture** : les réseaux de capteurs peuvent aider à surveiller les cultures, la température, l'humidité, la qualité de l'air et la qualité de l'eau pour les serres et les champs.

- **Surveillance de la sécurité** : les réseaux de capteurs peuvent être utilisés pour surveiller les bâtiments, les zones industrielles et les zones à risque.
- **Automobile** : les réseaux de capteurs peuvent être utilisés pour surveiller les conditions de conduite, la consommation de carburant, la vitesse, etc.



Figure I.6 Application de transport

- **Gestion des ressources naturelles** : les réseaux de capteurs peuvent être utilisés pour surveiller et gérer les ressources naturelles telles que l'eau, l'énergie, les forêts, les pêches, etc.
- **Industrie** : les réseaux de capteurs peuvent être utilisés pour la surveillance de l'état des machines, la détection de pannes, la gestion de l'inventaire, la surveillance de la qualité, etc.
- **Smart cities** : les réseaux de capteurs peuvent être utilisés pour la gestion intelligente des infrastructures urbaines telles que les systèmes de transport, l'éclairage public, la gestion des déchets, etc. les réseaux de capteurs peuvent être utilisés pour la gestion intelligente des maisons et des bâtiments, y compris la surveillance de la température, de l'éclairage, de la sécurité, de l'énergie, etc.

En général, les réseaux de capteurs sont utilisés pour la surveillance, la collecte de données, la détection de mouvements et la surveillance en temps réel dans un environnement distribué.

- **Géologie** : les réseaux de capteurs peuvent être utilisés pour surveiller les tremblements de terre, la sismicité, les changements géologiques, etc.
- **Industrie minière** : les réseaux de capteurs peuvent être utilisés pour la surveillance de la sécurité et de l'état des équipements, la surveillance de l'environnement, la surveillance de l'efficacité de la production, etc.
-

I.6.1 Surveillance des forêts

Les réseaux de capteurs peuvent être utilisés pour surveiller les forêts en transmettant des données sur la température, l'humidité, la qualité de l'air et d'autres facteurs environnementaux importants. En utilisant ces données, les responsables forestiers peuvent surveiller les conditions de la forêt et détecter rapidement les incendies ou d'autres problèmes environnementaux. Les réseaux de capteurs peuvent également aider à surveiller les activités humaines telles que la coupe illégale de bois ou la déforestation. Les réseaux de capteurs offrent une surveillance à distance en temps réel, ce qui est très utile pour les grandes zones forestières difficiles à atteindre [4-5]



Figure I.7 Système de surveillance des forêts

I.6.2 Surveillance des serres agricoles

Les réseaux de capteurs peuvent également être utilisés pour surveiller les serres agricoles. Les nœuds capteurs peuvent mesurer des facteurs tels que la température, l'humidité, la lumière et la qualité de l'air. En utilisant ces données, les agriculteurs peuvent surveiller les conditions de croissance des plantes et prendre des mesures pour corriger les problèmes potentiels tels que les variations de température ou l'excès d'humidité. Les réseaux de capteurs peuvent également aider à optimiser les conditions de croissance en utilisant des algorithmes de contrôle pour ajuster automatiquement les niveaux de lumière et d'arrosage. Les réseaux de capteurs permettent une surveillance à distance en temps réel et peuvent aider les agriculteurs à maximiser la production et la qualité de leurs récoltes.



Figure I.8 Surveillance des serres agricoles

I.6.3 Irrigation

L'irrigation est également un domaine d'application important pour les réseaux de capteurs. Les nœuds capteurs peuvent mesurer des facteurs tels que l'humidité du sol, la température et les besoins en eau des plantes. En utilisant ces données, les systèmes d'irrigation peuvent être ajustés automatiquement pour fournir la quantité appropriée d'eau aux plantes. Cela peut aider à économiser de l'eau, à augmenter la qualité des cultures et à maximiser la production. Les réseaux de capteurs permettent également une surveillance à distance en temps réel, ce qui peut être utile pour surveiller les conditions de croissance dans des zones difficiles d'accès.[6]



Figure I.9 Irrigation

- **Surveillance de la santé des patients** : les nœuds capteurs peuvent être utilisés pour surveiller les signes vitaux tels que la pression artérielle, la fréquence cardiaque et la respiration des patients. Les données peuvent être transmises en temps réel à des médecins pour une analyse en temps réel et une intervention rapide en cas de besoin.
- **Contrôle de la qualité de l'air** : les réseaux de capteurs peuvent être utilisés pour mesurer la qualité de l'air dans des zones industrielles, urbaines et rurales. Les données peuvent être utilisées pour aider à prendre des décisions en matière de politique environnementale et pour surveiller les niveaux de pollution.
- **Surveillance du trafic** : les réseaux de capteurs peuvent être utilisés pour surveiller le trafic routier en temps réel. Les données peuvent être utilisées pour ajuster les signaux de circulation et pour planifier les itinéraires de transport en commun de manière plus efficace.
- **Suivi des activités sismiques** : les réseaux de capteurs peuvent être utilisés pour surveiller les activités sismiques dans des zones à haut risque. Les données peuvent être utilisées pour prévoir les éruptions volcaniques et les earthquakes.

- **Surveillance de la qualité de l'eau** : les réseaux de capteurs peuvent être utilisés pour mesurer la qualité de l'eau dans les réservoirs, les lacs et les rivières. Les données peuvent être utilisées pour prendre des décisions en matière de gestion de l'eau et pour surveiller les niveaux de pollution.

I.7 Conclusion

Ce chapitre a permis de comprendre les caractéristiques et les applications des réseaux de capteurs. Les réseaux de capteurs ont de nombreuses applications variées, telles que la surveillance des forêts, des serres agricoles, l'irrigation, et d'autres.

Cependant, les réseaux de capteurs sont confrontés à plusieurs défis tels que la limite de la bande passante et la restriction de l'alimentation électrique. Il est donc important de poursuivre les efforts de recherche et de développement pour surmonter ces limites et améliorer les performances des réseaux de capteurs. En fin de compte, les réseaux de capteurs sont un domaine en constante évolution qui a un potentiel immense pour l'avenir de la surveillance et de la collecte de données à distance. Il fournit une base solide pour étudier les problèmes qui se posent dans l'utilisation et le déploiement des réseaux de capteurs.

CHAPITRE II

Routage dans les Réseaux de capteurs

II.1 Introduction

Le routage dans les réseaux de capteurs sans fil est un processus crucial pour acheminer les données collectées vers leur destination finale. Les réseaux de capteurs ont des contraintes uniques en termes de ressources limitées et de besoins d'application spécifiques. Différents types de protocoles de routage existent, chacun avec ses avantages et inconvénients, et doivent être évalués en fonction de critères tels que la latence, la consommation d'énergie, la qualité de service, la fiabilité et la stabilité du réseau. Le choix et l'évaluation des protocoles de routage appropriés sont essentiels pour assurer l'efficacité et la stabilité des réseaux de capteurs.

II.2 Définition de routage

Le routage dans les réseaux de capteurs est le processus permettant de déterminer les chemins optimaux pour le transfert des données entre les capteurs et les nœuds de destination. Il s'agit d'un problème complexe, principalement en raison des contraintes inhérentes aux réseaux de capteurs, telles que la faible portée des communications, la consommation d'énergie limitée des capteurs et la dynamique de l'environnement.

Le routage dans les réseaux de capteurs est essentiel pour garantir une transmission de données fiable et efficace, tout en optimisant l'utilisation des ressources disponibles. Il existe plusieurs approches de routage qui ont été développées pour répondre aux défis spécifiques rencontrés dans les réseaux de capteurs. Ces approches peuvent être classées en différentes catégories, telles que le routage basé sur la localisation, le routage hiérarchique et le routage basé sur l'énergie [6].

II.3 Définition de protocole

Un protocole de routage dans un réseau de capteurs est un ensemble de règles et de procédures qui guident le processus de transfert des données entre les capteurs et les nœuds de destination. Il fournit les instructions nécessaires pour la découverte des routes, la sélection du chemin optimal et la gestion des communications.

Les protocoles de routage dans les réseaux de capteurs doivent prendre en compte les caractéristiques particulières de ces réseaux, telles que la topologie changeante, la connectivité sporadique et les ressources limitées. Ils doivent également être adaptés aux objectifs spécifiques

de l'application, tels que la minimisation de la consommation d'énergie, la maximisation de la durée de vie du réseau ou la garantie de la livraison des données dans les délais requis.

II.4 Les protocoles de routage proposé pour les RCSF

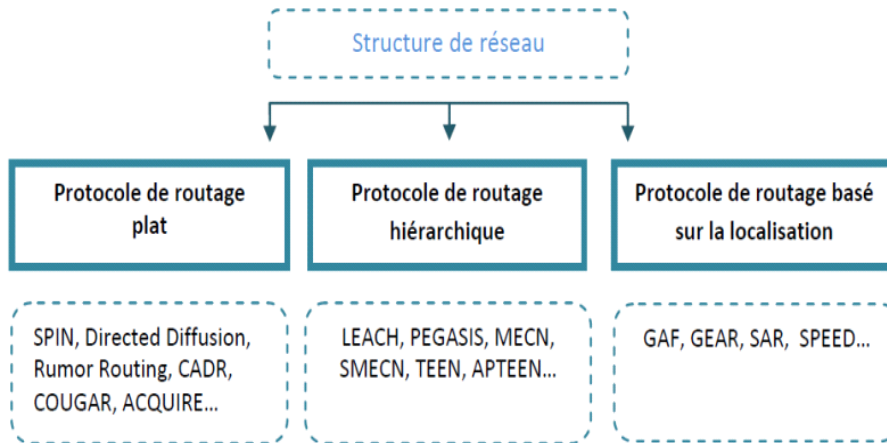


Figure II.1 classification des protocoles de routage pour les réseaux de capteurs

Nous citons dans cette section quelques protocoles de routage proposé pour les réseaux de capteurs sans fil.

II.4.1 Le routage plat :

Un protocole de routage dans lequel tous les nœuds du réseau de capteurs ont les mêmes responsabilités et effectuent les mêmes tâches. Les nœuds émetteurs transmettent directement les données aux nœuds récepteurs, sans avoir recours à un nœud intermédiaire.

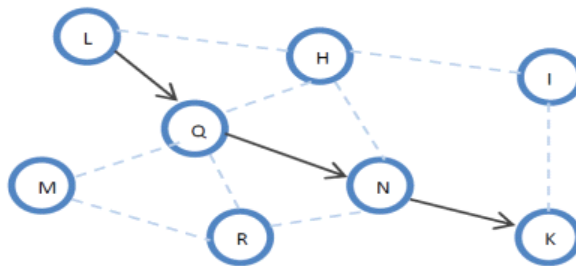


Figure II.2 Routage plat

❖ Les avantages du routage plat sont les suivants :

- Simplicité : Le routage à plat est relativement simple à mettre en œuvre car il ne nécessite pas de hiérarchie ou de clustering.
- Faible latence : Dans le routage à plat, les nœuds peuvent communiquer directement, ce qui réduit la latence du réseau.

- Faible surcharge : Étant donné qu'il n'y a pas de hiérarchie, les nœuds ne doivent pas effectuer de tâches supplémentaires comme la gestion de la structure hiérarchique, ce qui réduit la charge de travail.

❖ **Cependant, le routage plat présente également certains inconvénients :**

- Gestion de l'énergie : Les nœuds dans le routage à plat ont des tâches similaires et transmettent des données directement. Cela peut entraîner une consommation d'énergie non uniforme, où certains nœuds sont plus sollicités que d'autres, ce qui peut épuiser plus rapidement leur source d'énergie.

- Scalabilité : Le routage à plat peut être moins efficace pour les réseaux de grande taille car il peut y avoir une saturation du canal de communication.

- Faible redondance : Dans le routage à plat, il peut y avoir une faible redondance de données car les nœuds transmettent directement les données aux nœuds récepteurs, ce qui peut entraîner une perte de données en cas de défaillance d'un nœud.

En résumé, le routage à plat est simple à mettre en œuvre et offre une faible latence et une faible surcharge. Cependant, il peut avoir des problèmes de gestion de l'énergie, de scalabilité et de redondance de données.

II.4.2 Le routage hiérarchique

Une approche dans laquelle les nœuds du réseau de capteurs sont organisés en plusieurs niveaux hiérarchiques, chacun ayant des responsabilités spécifiques. Les nœuds de bas niveau sont chargés de collecter les données et de les envoyer aux nœuds de niveau supérieur, qui sont chargés d'agrégier les données et de les transmettre à des niveaux encore plus élevés. Ce processus se poursuit jusqu'à ce que les données atteignent le nœud de destination.

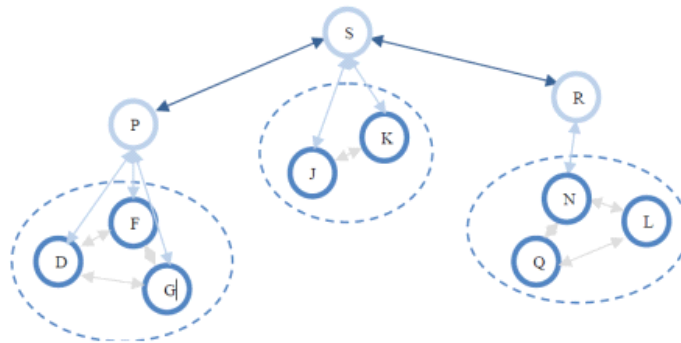


Figure II.3 Routage hiérarchique

❖ **Le routage hiérarchique présente plusieurs avantages.**

Tout d'abord, il réduit la quantité de trafic sur le réseau, car les données sont agrégées à chaque niveau avant d'être transmises à l'étage supérieur, réduisant ainsi le nombre de paquets qui circulent sur le réseau. De plus, la hiérarchisation permet une meilleure gestion de l'énergie, car les nœuds de haut niveau peuvent être alimentés en énergie à partir de sources plus fiables, telles que des panneaux solaires, tandis que les nœuds de bas niveau peuvent fonctionner avec des batteries plus petites. Enfin, le routage hiérarchique est plus résistant aux pannes, car les nœuds de haut niveau peuvent prendre en charge les nœuds de bas niveau en cas de panne.

• **Le routage hiérarchique présente également quelques inconvénients.**

Tout d'abord, il nécessite une organisation complexe du réseau, avec une gestion et une maintenance plus complexes. De plus, le temps de latence peut être plus élevé, car les données doivent être transmises à plusieurs niveaux avant d'atteindre le nœud de destination. Enfin, il peut être moins flexible que le routage à plat, car il est plus difficile de reconfigurer le réseau en cas de modification de la topologie ou des besoins de surveillance.

II.4.3 Le routage basé sur la localisation est un type de routage dans lequel la localisation des nœuds est utilisée pour acheminer les données. Dans ce type de routage, chaque nœud est identifié par sa position géographique, ce qui permet de connaître la distance qui les sépare et de déterminer le chemin le plus court entre deux nœuds.

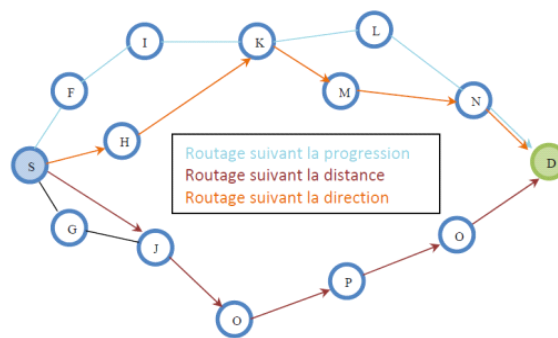


Figure II.4 Routage basé sur la localisation

Le fonctionnement du routage basé sur la localisation peut être divisé en deux étapes principales :

- La découverte de la position des nœuds et le routage des données. La découverte de la position des nœuds peut être effectuée à l'aide de techniques de localisation telles que GPS, triangulation, trilatération, ou encore l'estimation de la distance par la force du signal. Une fois que la position de

chaque nœud est connue, le routage des données peut être effectué en choisissant le chemin le plus court en termes de distance géographique.

Les avantages du routage basé sur la localisation sont notamment une réduction de la consommation d'énergie des nœuds, une amélioration de la qualité de service, une augmentation de l'efficacité du réseau, et une meilleure gestion des ressources. En effet, en utilisant la localisation des nœuds pour acheminer les données, il est possible d'économiser de l'énergie en réduisant le nombre de nœuds nécessaires pour transmettre les données, en évitant les redondances inutiles et en optimisant le routage.

Cependant, le routage basé sur la localisation présente également des inconvénients. Par exemple, la localisation des nœuds peut être imprécise ou difficile à obtenir dans certains environnements, ce qui peut entraîner des erreurs de routage. De plus, la localisation peut être coûteuse en termes de temps et de ressources, ce qui peut rendre difficile la mise en œuvre de ce type de routage dans certains réseaux. Enfin, le routage basé sur la localisation peut être vulnérable aux attaques malveillantes visant à falsifier la position des nœuds ou à perturber le processus de routage.

II.5 Les Protocoles de routage dans les réseaux de capteurs

II.5.1 Protocoles de routage hiérarchiques

- **LEACH**

L'idée est de former des clusters de nœuds de capteurs en fonction de la force du signal reçu et d'utiliser le chef de cluster local comme routeur pour les récepteurs. Tout le traitement des données s'effectue localement sur le cluster. Les rôles de chef de cluster sont échangés de manière aléatoire entre les nœuds pour équilibrer la charge.

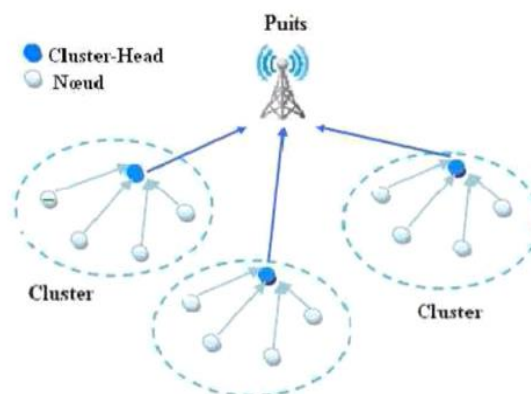


Figure II.5 Routage hiérarchique basé sur le clustering

- **PEGASIS** (Power Efficient GATHERing in Sensor Information Systems)

PEGASIS est une amélioration du protocole LEACH. Au lieu de former plusieurs clusters, PEGASIS forme des chaînes de nœuds de sorte que chaque nœud transmet et reçoit du nœud voisin appartenant à la chaîne. Un seul nœud est choisi, parmi cette chaîne, pour transmettre au sink. Ce nœud est nommé (leader node). Les données recueillies se déplacent d'un nœud à un autre, et seront agrégées puis envoyées au sink par le nœud leader. Dans le PEGASIS hiérarchique les nœuds construisent une chaîne qui forme un arbre hiérarchique. Chaque nœud leader, choisi dans un niveau particulier, transmet des données aux nœuds du niveau supérieur de la hiérarchie jusqu'à atteindre la station de base Sink.

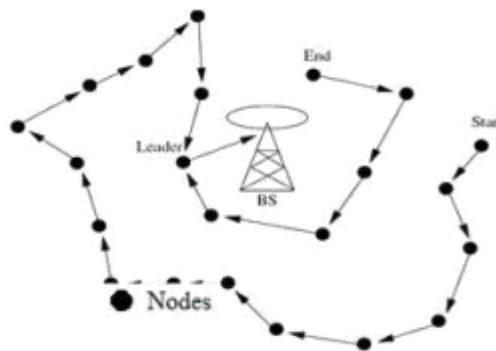


Figure II.6 Routage hiérarchique basé sur le clustering

- **TEEN et APTEEN** (Threshold sensitive Energy Efficient sensor Network protocol)

TEEN est un protocole en couches conçu pour être sensible aux changements inattendus des propriétés détectées telles que la température. L'architecture du réseau est basée sur le regroupement hiérarchique, où les nœuds les plus proches forment des clusters. Une fois le cluster établi, le chef de cluster diffuse deux seuils aux nœuds. Quelle est la valeur minimale d'un attribut pouvant être transféré et le degré minimal de modification de cet attribut. Adaptive TEEN (APTEEN) est une extension de TEEN basée sur la capture périodique de données et la réaction aux événements en temps réel. Lorsque les stations de base forment un cluster, le chef de cluster diffuse les attributs, les seuils et les plans de transmission à tous les nœuds et effectue l'agrégation des données pour économiser de l'énergie [7].

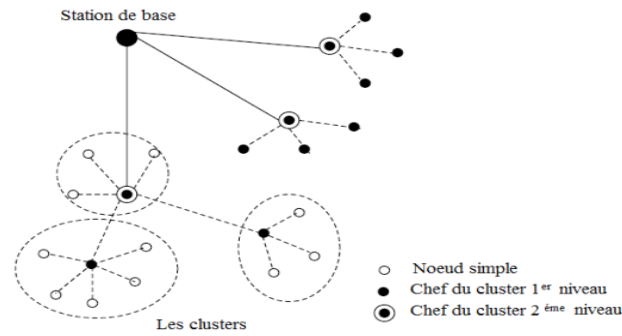


Figure II.7 Le groupement hiérarchique dans TEE et APTEEN

- **SAR** (Sequential Assignment Routing)

SAR est une approche multi-chemins qui s'efforce à réaliser l'efficacité énergétique et la tolérance aux fautes. SAR crée des arbres en prenant en compte les métriques QoS, la ressource énergétique sur chaque chemin et le niveau de priorité de chaque paquet. En utilisant ces arbres, des routes multiples du sink aux capteurs sont formés. Une ou plusieurs routes peuvent, alors, être emprunter.

II.5.2 Protocoles de routage non hiérarchiques :

- **AODV** (Ad-hoc On Demand Distance Vector)

C'est un protocole à vecteur de distance, comme DSDV, mais il est réactif plutôt que proactif comme DSDV. En effet, AODV ne demande une route que lorsqu'il en a besoin. AODV utilise les numéros de séquence d'une façon similaire à DSDV pour éviter les boucles de routage et pour indiquer la « nouveauté » des routes. Une entrée de la table de routage contient essentiellement l'adresse de la destination, l'adresse du nœud suivant, la distance en nombre de sauts (i.e. le nombre des nœuds nécessaires pour atteindre la destination), le numéro de séquence destination, le temps d'expiration de chaque entrée dans la table [8].

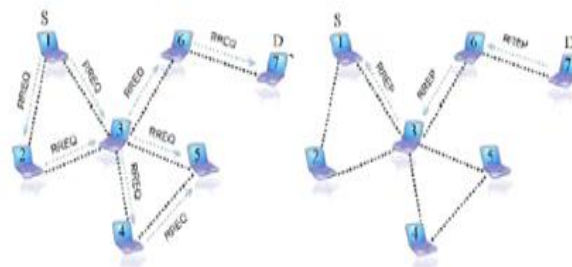


Figure II.8 Fonctionnement de la procédure de demande de route dans AODV

- **SPIN** (Sensor Protocols for Information via Negotiation)

L'idée derrière le SPIN est d'échanger des informations sur les données à envoyer en utilisant des paquets de signalisations spéciales nommées meta-DATA. Ceci permet d'éviter le problème des données redondantes. Chaque nœud, s'intéressant à la donnée référencée par ce paquet meta DATA, peut les récupérer en envoyant un paquet de requête [7].

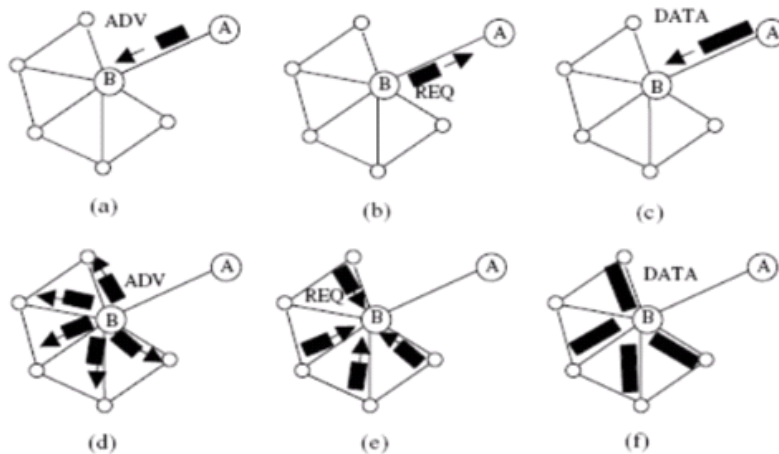


Figure II.9 Fonctionnement du protocole SPIN

- **DSDV** (Destination Sequenced Distance Vector)

DSDV est un protocole proactif de routage à vecteur de distance. Chaque nœud du réseau maintient une table de routage contenant le saut suivant et le nombre de sauts pour toutes les destinations possibles. Des diffusions de mises à jour périodiques tendent à maintenir la table de routage complètement actualisée à tout moment [9].

- **GSR** (Global State Routing)

Le protocole GSR est un protocole similaire au protocole DSDV décrit précédemment. Ce protocole utilise les idées du routage basé sur l'état des liens (Link State, LS), et les améliore en évitant le mécanisme inefficace d'inondation des messages de routage. GSR utilise une vue globale de la topologie du réseau, comme c'est le cas dans les protocoles basés sur LS. Le protocole utilise aussi une méthode, appelée la méthode de dissémination, utilisée dans le DBF (Distributed Bellman-Ford) [9].

- **DSR** (Dynamic Source Routing)

DSR est un protocole de routage réactif qui utilise le routage de source afin d'envoyer des paquets de données. Dans ce type de routage, les entêtes des paquets de données portent la séquence des nœuds à travers lesquels le paquet doit passer. Ceci signifie que les nœuds

intermédiaires ont juste besoin de garder des traces de leurs voisins intermédiaires afin de transférer les paquets de données. Le nœud source a besoin de savoir l'ordre complet des nœuds jusqu'à la destination [8].

- **OLSR** (Optimized Link State Routing)

Comme son nom l'indique, OLSR est un protocole proactif à état des liens optimisé ; il permet d'obtenir aussi des routes de plus court chemin. Alors que dans un protocole à état des liens, chaque nœud déclare ses liens directs avec ses voisins à tout le réseau, dans le cas d'OLSR, les nœuds ne déclarent qu'une sous-partie de leur voisinage grâce à la technique des relais multipoints (MultiPoint Relaying, MPR).

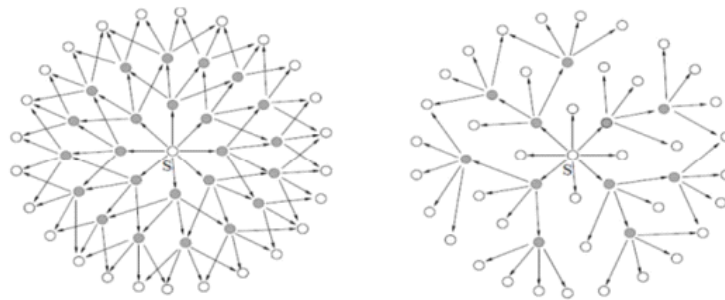


Figure II.10 Diffusion pure et diffusion en utilisant les MPRs dans OLSR

- **GPSR** (Greedy Perimeter Stateless Routing)

La topologie a un caractère relativement provisoire dû à la mobilité des nœuds dans les réseaux Ad-hoc et de capteurs mobiles. Pour cette raison, les protocoles de routage les plus étudiés pour ce type de réseaux sont les protocoles de routage géographique car ils permettent d'éviter la surcharge d'informations échangées entre les nœuds qui cherchent à obtenir la topologie du réseau ou à construire les tables de routage.

Ce protocole de routage géographique se base sur le fait que tous les nœuds connaissent leur position, par exemple, grâce à un équipement GPS (Global Positioning System) ou encore par un système de positionnement distribué

II.5.3 Performances des protocoles de routage dans les réseaux de capteurs

L'évaluation des performances des protocoles de routage dans les réseaux de capteurs est une étape essentielle pour mesurer l'efficacité et la fiabilité de ces protocoles. Les critères d'évaluation couramment utilisés incluent le taux de réussite de la transmission, la consommation d'énergie et la durée de vie du réseau.

Le taux de réussite de la transmission mesure la capacité du protocole à acheminer les données à destination avec succès. Il peut être affecté par des facteurs tels que la topologie du réseau, la densité des nœuds, la puissance de transmission et les interférences.

La consommation d'énergie est un critère important dans les réseaux de capteurs, où les nœuds sont souvent alimentés par des batteries. Les protocoles qui minimisent la consommation d'énergie permettent de prolonger la durée de vie du réseau.

La durée de vie du réseau est une mesure de la capacité du réseau à maintenir un fonctionnement stable et efficace sur une longue période de temps. Elle dépend de facteurs tels que la consommation d'énergie, la capacité de stockage des nœuds et la capacité de transmission des données.

Pour évaluer les performances des protocoles de routage, différentes méthodes peuvent être utilisées, notamment les simulations, les expérimentations sur des plateformes de test et les comparaisons avec d'autres protocoles existants. Les simulations sont couramment utilisées car elles permettent de tester les performances des protocoles dans différentes configurations de réseau et avec différentes hypothèses sur les caractéristiques des nœuds et des communications. Les expérimentations sur des plateformes de test réelles peuvent fournir des résultats plus précis et fiables, mais sont souvent plus coûteuses et plus difficiles à mettre en place. Enfin, les comparaisons avec d'autres protocoles existants peuvent fournir des indications sur les avantages et les inconvénients relatifs des différents protocoles et aider à identifier les domaines d'amélioration possibles.

II.6 Conclusion

Le routage dans les réseaux de capteurs est une tâche complexe qui nécessite des protocoles efficaces pour assurer une transmission de données fiable et efficace. Il existe différents types de protocoles de routage, chaque type ayant ses avantages et inconvénients. L'évaluation des performances des protocoles de routage est un processus important pour comprendre leur efficacité et leur fiabilité. Cependant, il existe encore des défis et des limitations à relever, tels que la faible capacité de traitement et de stockage des nœuds capteurs, la gestion de l'énergie et la sécurité. Différentes pistes de recherche sont envisagées pour améliorer le routage, notamment l'utilisation de techniques de machine learning, l'exploitation de l'intelligence collective des nœuds et l'utilisation de technologies de communication sans fil innovantes.

CHAPITRE III

Internet des objets (IoT)

III.1 Introduction

L'Internet des objets (IOT) est une technologie en plein essor qui vise à connecter des objets du quotidien à Internet pour permettre une communication entre eux et une collecte de données en temps réel. Dans les réseaux de capteurs sans fil (RCSF), l'IOT est un élément clé pour la collecte de données à partir de capteurs distants et pour l'analyse de ces données.

Ce chapitre se concentre sur l'IOT dans les RCSF. Nous allons d'abord introduire l'IOT et ses composantes, puis présenter les applications de l'IOT dans les RCSF. Nous allons également discuter des protocoles de communication pour l'IOT, ainsi que des questions de sécurité liées à l'IOT, en présentant les avantages et les défis de l'IOT dans ce contexte. En comprenant les principes fondamentaux de l'IOT, les lecteurs pourront comprendre comment l'IOT peut être utilisé pour améliorer les performances des RCSF et les applications auxquelles ils sont destinés.

III.2 Définition de l'IOT

L'Internet des objets (IOT) est une technologie de l'information et de la communication (TIC) qui permet à des objets physiques d'être connectés à Internet, de communiquer entre eux, de collecter et d'échanger des données. Ces objets peuvent être des appareils électroniques, des capteurs, des véhicules, des machines industrielles, des équipements domestiques, des accessoires de mode, des outils de santé, des infrastructures urbaines, etc. L'IOT permet ainsi la création d'un réseau de communication intelligent et autonome, capable de faciliter la prise de décision, l'automatisation de tâches, la surveillance à distance, l'optimisation des ressources et la personnalisation des services.

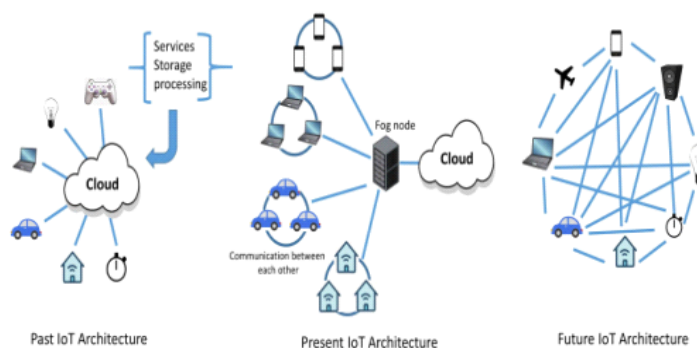


Figure III.1 Architecture actuelle et future de l'IoT

III.3 Composantes de l'IoT

Les composant l'IoT est cinq. L'objet connecté est d'abord un objet qui a une fonction mécanique et/ou électrique propre, il peut soit être conçu directement connectable, soit il est déjà existant et la connectivité est rajoutée à posteriori. L'objet connecté a pour fonction de collecter des données de capteurs, de traiter ces données et de les communiquer à l'aide de d'une fonction de connectivité et de recevoir des instructions pour exécuter une action. Généralement ces fonctions de l'objet connecté nécessitent une source d'énergie, surtout quand les données sont prétraitées directement dans l'objet [10].

❖ Capteur

Les capteurs sont des dispositifs permettant de transformer une grandeur physique observée (température, luminosité, mouvement etc...) en une grandeur digitale utilisable par des logiciels. Il existe une très grande variété de capteurs de tous types, les objets connectés ont souvent la fonction de captation de ces grandeurs physiques sur leurs lieux d'utilisation. Exemple de capteurs : lumière, présence, proximité, position, déplacement, accélération, rotation, température, humidité, son, vibration, électrique, magnétique, chimique, gaz, flux, force, pression, niveau [10].

❖ Réseaux de capteurs

Afin de satisfaire les besoins de communication entre eux, les capteurs sont équipés de dispositifs sans fil pour l'émission et la réception de données. Cela ne suffit cependant pas à rendre un ensemble de capteurs accessibles ou du moins de manière interopérable, transparente et simplifiée pour cela, les capteurs doivent aussi s'organiser ce qui caractérise un réseau de capteurs, c'est que ses éléments sont de très petits appareils, dotes de capacités de transmission sans fil [11].

❖ Énergie

La plus importante contrainte à laquelle sont soumis les restes aux capteurs concernant l'énergie. L'autonomie temporelle des nœuds s'évalue en termes d'années [12].

❖ Actionneurs

Les actionneurs sont des dispositifs qui transforment une donnée digitale en phénomène physique pour créer une action, ils sont en quelque sorte l'inverse du capteur. Exemple d'actionneurs : Afficheurs, Alarmes, Caméras, Haut-parleurs, Interrupteurs, Lampes, Moteurs, Pompes, Serrures, Vannes, Ventilateur, Vérins, [10].

❖ Connectivité

La connectivité de l'objet est assurée par une petite antenne Radio Fréquence qui va permettre la communication de l'objet vers un ou plusieurs réseaux (qui sont détaillés dans la section « réseaux IoT »). Les objets pourront d'une part remonter des informations telles que leur identité, leur état, une alerte ou les données de capteurs, et d'autre part recevoir des informations telles que des commandes d'action et des données. Le module de connectivité permet aussi de gérer le « cycle de vie de l'objet », c'est-à-dire, l'authentification et l'enregistrement dans le réseau, la mise en service, la mise à jour et la suppression de l'objet du réseau.[10].

III.4 L'évolution de l'IOT

- Les premiers travaux sur l'IOT ont débuté dans les années 90, avec la création du terme "Internet des objets" par Kevin Ashton. Cette période a été marquée par des expérimentations et des projets de recherche visant à développer des prototypes de capteurs et de réseaux de capteurs.
- Dans les années 2000, l'IOT est devenu une réalité commerciale, avec l'émergence de nouvelles technologies de communication sans fil, telles que le Wi-Fi, le Bluetooth et la RFID. Les applications de l'IOT se sont diversifiées, touchant des secteurs tels que la logistique, la santé, l'énergie, la domotique, etc.
- Depuis les années 2010, l'IOT a connu une expansion rapide, en grande partie grâce à la généralisation de l'utilisation de l'Internet et des smartphones. Les volumes de données générés par l'IOT ont explosé, nécessitant des technologies de stockage et de traitement de données plus avancées.
- Actuellement, l'IOT est en train de se transformer en Intelligence des Objets (IDO), en intégrant des capacités d'analyse de données avancées, telles que l'intelligence artificielle, le machine learning et l'analyse prédictive. Cette évolution permet à l'IOT de fournir des services plus intelligents et personnalisés, ainsi que de répondre aux besoins de nouveaux secteurs, tels que l'agriculture de précision, la gestion de l'eau, la smart city, etc.

En somme, l'IOT a connu une évolution rapide et continue, avec une croissance exponentielle du nombre d'objets connectés et des volumes de données générés. Cette évolution a permis l'émergence de nouvelles applications et de nouveaux usages, tout en posant des défis techniques, économiques et sociaux.

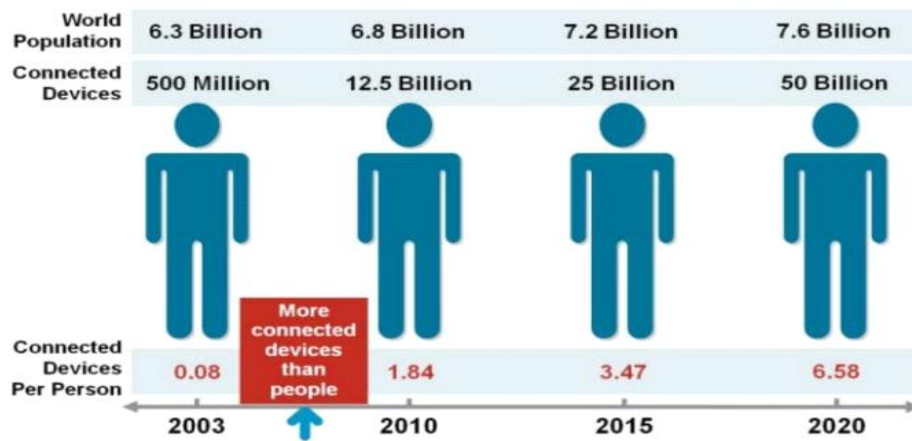


Figure III.2 IoT Aujourd'hui

III.5 Domaines d'application de l'Internet des objets

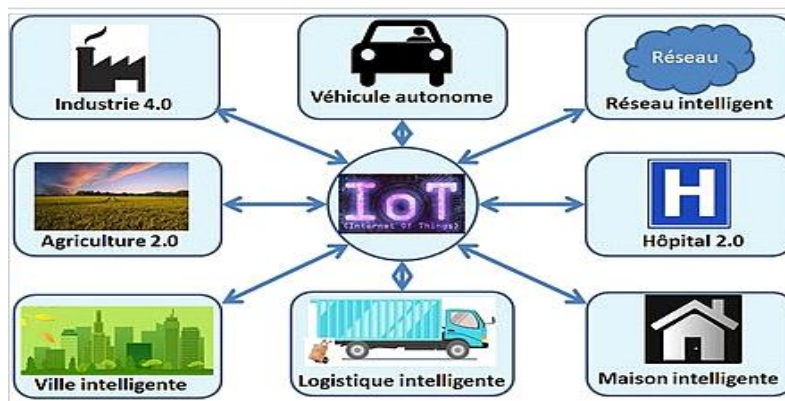


Figure III.3 Domaines d'application de l'IOT

La domotique : L'IOT permet de contrôler et d'automatiser différents aspects de la maison, tels que l'éclairage, la température, la sécurité, etc. Cela peut se faire à distance, depuis un smartphone ou une tablette. [13]

La santé : L'IOT peut être utilisé pour suivre et surveiller différents aspects de la santé, tels que la fréquence cardiaque, la tension artérielle, le taux de sucre dans le sang, etc. Cela permet un suivi personnalisé et en temps réel, ainsi qu'une meilleure prévention des maladies.

La logistique : L'IOT permet de suivre et de surveiller les mouvements des marchandises, depuis leur expédition jusqu'à leur livraison. Cela permet une meilleure gestion des stocks, une réduction des coûts et une amélioration de la qualité de service.

L'agriculture : L'IOT peut être utilisé pour surveiller les conditions environnementales dans les champs, telles que la température, l'humidité, la luminosité, etc. Cela permet une meilleure gestion des cultures, une réduction des coûts et une augmentation des rendements.

La gestion de l'énergie : L'IOT permet de surveiller et de contrôler la consommation d'énergie dans les bâtiments, les usines, les villes, etc. Cela permet une meilleure optimisation des ressources et une réduction des coûts.

Les villes intelligentes : L'IOT permet de connecter différents aspects de la ville, tels que les transports, l'éclairage public, la gestion des déchets, etc. Cela permet une meilleure gestion des ressources et une amélioration de la qualité de vie des citoyens. [14]

La sécurité : La sécurité IOT permet de surveiller et de protéger les personnes et les biens de manière efficace en utilisant des technologies connectées pour détecter les menaces potentielles et alerter les utilisateurs en temps réel.

Les transports : L'IOT offre de nombreuses opportunités pour améliorer l'efficacité et la sécurité des transports, en permettant une meilleure gestion du trafic, un suivi des véhicules en temps réel, une optimisation des trajets et une surveillance des performances des véhicules. [13]

Les loisirs : L'IOT offre de nombreuses possibilités dans le domaine des loisirs, en permettant la surveillance des performances sportives, la création d'expériences de jeux plus immersives et la personnalisation de l'expérience d'écoute de la musique.

En somme, L'IOT offre de nombreuses applications potentielles dans différents secteurs, permettant une meilleure gestion des ressources et une amélioration de la qualité de service.

III.6 Les avantages de l'IOT dans les réseaux de capteurs

- Amélioration de la collecte des données : l'IOT permet une collecte de données plus efficace grâce à l'utilisation de capteurs connectés en réseau qui peuvent transmettre des données en temps réel.
- Réduction des coûts de maintenance : l'IOT permet une surveillance à distance des capteurs et des équipements, ce qui permet de détecter les problèmes et de les résoudre rapidement, ce qui réduit les coûts de maintenance.
- Optimisation de la gestion des ressources : les données collectées par les capteurs peuvent être utilisées pour optimiser la gestion des ressources, comme l'énergie et l'eau, en identifiant les zones où la consommation est excessive et en apportant des ajustements.
- Amélioration de la sécurité : l'IOT peut être utilisé pour surveiller les zones à haut risque, comme les usines chimiques, les centrales électriques, etc., et pour détecter les fuites de gaz et d'autres problèmes de sécurité.

- Amélioration de la prise de décision : les données collectées par les capteurs peuvent être analysées pour fournir des informations précieuses qui peuvent aider les décideurs à prendre des décisions éclairées et à élaborer des stratégies efficaces.
- Amélioration de l'efficacité opérationnelle : l'IOT peut être utilisé pour automatiser les processus et les tâches répétitives, ce qui permet de réduire les erreurs humaines et d'optimiser l'efficacité opérationnelle.
- Ces avantages montrent que l'IOT peut être un outil puissant pour améliorer la performance des réseaux de capteurs et pour fournir des données précises et en temps réel pour aider les décideurs à prendre des décisions éclairées.

III.7 Les protocoles de communication pour l'IOT

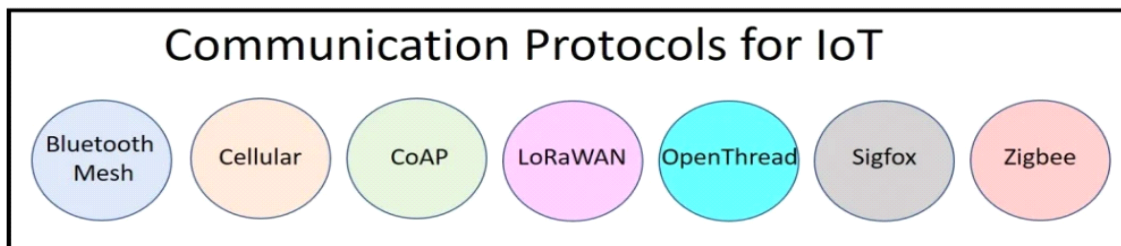


Figure III.4 Les protocoles de communication pour l'IOT

Il existe de nombreux protocoles de communication pour l'IOT, certains sont spécifiques à certaines technologies de communication, tandis que d'autres sont plus généraux. Voici quelques exemples de protocoles de communication couramment utilisés pour l'IOT :

III.7.1 MQTT (Message Queuing Telemetry Transport) : un protocole de messagerie pour les appareils à faible bande passante et à haute latence, qui est souvent utilisé pour la communication machine-à-machine (M2M).

III.7.2 CoAP (Constrained Application Protocol) : un protocole de communication RESTful (Representational State Transfer) pour les appareils à faible puissance de traitement et à faible bande passante.



Figure III.5 COAP

III.7.3 Zigbee : un protocole de communication de réseau maillé sans fil à faible consommation d'énergie pour les appareils de l'IOT.



Figure III.6 Zigbee

III.7.4 BLE (Bluetooth Low Energy) : une version à faible consommation d'énergie de la technologie Bluetooth, qui est souvent utilisée pour les appareils de l'IOT.



Figure III.7 Bluetooth

III.7.5 LoRaWAN : un protocole de communication à longue portée et basse consommation d'énergie pour les réseaux de capteurs de l'IOT.

LoRaWAN



Figure III.8 LORa WAN

III.7.6 Sigfox : un protocole de communication à longue portée et basse consommation d'énergie pour les réseaux de capteurs de l'IOT.



Figure III.9 Sigfox

Ces protocoles ont tous leurs avantages et leurs inconvénients en fonction des exigences spécifiques de l'application de l'IOT. Il est important de bien comprendre les besoins de l'application avant de choisir un protocole de communication.

III.8 Les avantages et inconvénients des protocoles de communication pour l'IOT

❖ MQTT :

Avantages :

- Utilise peu de bande passante
- Possède un mécanisme de publication/abonnement efficace
- Compatible avec une grande variété de plateformes

Inconvénients :

- La qualité de service peut être limitée
- Les messages sont limités en taille

❖ CoAP :

Avantage :

- Utilise peu de bande passante
- Possède un mécanisme de demande/réponse efficace
- Compatible avec les protocoles HTTP/REST

Inconvénients :

- La sécurité peut être limitée
- Le mécanisme de découverte des ressources peut être complexe

❖ AMQP :

Avantages :

- Offre une haute qualité de service
- Supporte les transactions
- Permet une gestion fine des files d'attente

Inconvénients :

- Utilise plus de bande passante que les autres protocoles
- Peut être complexe à mettre en place

❖ HTTP :**Avantages :**

- Facile à mettre en place et à utiliser
- Compatible avec une grande variété de plateformes
- Supporte les protocoles RESTful

Inconvénients :

- Utilise plus de bande passante que les autres protocoles
- Peut manquer de certaines fonctionnalités spécifiques à l'IOT

❖ WebSocket :**Avantages :**

- Permet une communication en temps réel
- Utilise peu de bande passante
- Compatible avec une grande variété de plateformes

Inconvénients :

- Nécessite une connexion continue, ce qui peut être coûteux en termes de consommation d'énergie
- La sécurité peut être limitée

III.9 La sécurité dans l'IOT

La sécurité dans l'IOT est un sujet important car les objets connectés peuvent être vulnérables aux cyberattaques. Les objets connectés peuvent contenir des informations sensibles et peuvent être utilisés pour compromettre la sécurité de l'utilisateur ou de l'ensemble du réseau.

Pour assurer la sécurité dans l'IOT, plusieurs mesures peuvent être prises, telles que l'utilisation de protocoles de sécurité pour les communications, l'authentification et l'autorisation des utilisateurs et des objets connectés, la gestion des identités et des accès, la surveillance et la détection des menaces, et la mise à jour régulière des logiciels pour corriger les vulnérabilités.

Cependant, il y a des défis pour assurer la sécurité dans l'IOT, tels que le grand nombre d'objets connectés qui doivent être gérés, les différentes normes de sécurité utilisées par les différents fabricants, et la complexité de l'environnement distribué de l'IOT. Par conséquent, la sécurité dans l'IOT doit être prise en compte dès la conception des objets connectés et des

réseaux de capteurs, et des solutions de sécurité doivent être régulièrement évaluées et mises à jour pour faire face aux nouvelles menaces.



Figure III.10 La sécurité dans l'IOT

III.10 Conclusion

Ce mémoire de fin d'études consiste à mettre en évidence l'importance des réseaux de capteurs dans le domaine de l'IOT et leur impact sur notre vie quotidienne. Nous avons abordé les différents aspects des réseaux de capteurs, y compris leur architecture, leur fonctionnement, leurs avantages et leurs limites. Nous avons également présenté les protocoles de communication pour l'IOT, ainsi que les enjeux liés à la sécurité des réseaux de capteurs.

L'avenir des réseaux de capteurs est prometteur, notamment en matière de développement de l'IOT, qui offre de nombreuses possibilités d'applications dans divers domaines tels que la surveillance, l'agriculture, l'industrie, la santé, le transport, etc. Cependant, des défis doivent être relevés pour garantir la sécurité et la confidentialité des données collectées par les réseaux de capteurs, ainsi que pour assurer une interopérabilité optimale des différents protocoles de communication.

Dans l'avenir, des recherches supplémentaires doivent être menées pour améliorer la gestion de l'énergie et des ressources dans les réseaux de capteurs, ainsi que pour améliorer les performances et la fiabilité des protocoles de communication. Il est également important de poursuivre les efforts de normalisation et de standardisation pour garantir l'interopérabilité des systèmes IOT.

CHAPITRE IV

Conception et réalisation

IV.1 Introduction

Dans ce chapitre, nous allons étudier l'utilisation des réseaux de capteurs pour surveiller les mouvements des animaux dans les forêts et pour détecter les incendies. Les animaux ont un rôle crucial dans l'écosystème des forêts, ils sont des indicateurs importants de la santé des écosystèmes forestiers et de la biodiversité. De plus, la surveillance des incendies est un enjeu majeur pour la protection des forêts contre les dégâts causés par les incendies de forêt.

Nous allons utiliser Arduino pour développer un système de capteurs qui peut détecter les mouvements des animaux et les transmettre à un nœud central qui collectera les données et les analysera. Nous allons également développer un système de détection d'incendie basé sur les capteurs de mouvements

L'objectif de ce chapitre est de mettre en évidence l'importance des réseaux de capteurs dans la surveillance de l'environnement et de démontrer leur capacité à collecter des données précises et fiables pour aider à la prise de décision dans des situations critiques. Nous espérons que cette étude pratique contribuera à améliorer notre compréhension des réseaux de capteurs et de leur potentiel dans la surveillance environnementale.

IV.2 Description d'Arduino

Arduino est une plateforme open-source de prototypage électronique qui permet aux utilisateurs de créer des projets électroniques interactifs de manière facile et accessible. Arduino est conçue pour les artistes, les concepteurs, les ingénieurs et les amateurs qui souhaitent ajouter de l'interactivité à leurs projets. La plateforme Arduino offre une combinaison de matériel et de logiciel facile à utiliser, ainsi qu'une grande communauté d'utilisateurs qui partagent leurs projets et leurs connaissances en ligne. Les utilisateurs peuvent créer des projets électroniques tels que des robots, des systèmes d'automatisation, des capteurs et des actionneurs, des systèmes de contrôle, des projets IoT, etc. [16]

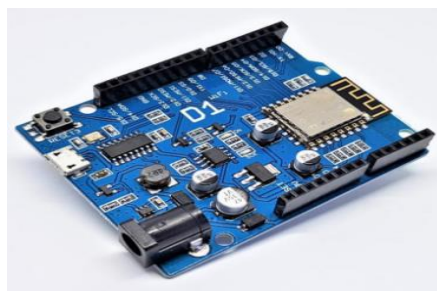


Figure IV.1 La Carte Arduino

IV.3 Composants d'Arduino

La première composante est la carte de microcontrôleur, qui est le cœur de la plateforme. C'est un petit circuit électronique qui contient un microcontrôleur et d'autres composants qui permettent la communication avec les capteurs et les actionneurs, ainsi que la programmation de la carte. L'environnement de développement intégré (IDE) est un logiciel qui permet de créer, éditer et télécharger des programmes sur la carte Arduino. Il fournit également des outils de débogage pour aider à corriger les erreurs dans le code.

Les bibliothèques de logiciels sont des collections de programmes qui peuvent être utilisés pour étendre les fonctionnalités de la carte Arduino. Elles comprennent des fonctions pour la communication sans fil, la gestion des capteurs, le contrôle des moteurs et des LED, etc.

Les accessoires sont des éléments supplémentaires qui peuvent être ajoutés à la carte Arduino pour étendre ses capacités. Ils comprennent des capteurs, des actionneurs, des écrans, des modules de communication sans fil, etc.

En résumé, les composants d'Arduino sont la carte de microcontrôleur, l'environnement de développement intégré, les bibliothèques de logiciels et les accessoires, qui travaillent ensemble pour permettre aux utilisateurs de créer des projets électroniques interactifs.

IV.4 Caractéristiques d'Arduino

Les cartes Arduino ont des caractéristiques qui leur permettent de s'adapter à différentes applications. Elles sont disponibles dans différentes tailles et configurations pour répondre aux besoins spécifiques des projets. Par exemple, une carte Arduino plus petite peut être utilisée pour des projets de taille réduite ou des projets embarqués où l'espace est limité.

Les cartes Arduino ont également des broches d'entrée/sortie qui peuvent être utilisées pour se connecter à des capteurs, des actionneurs et d'autres composants électroniques. Ces broches sont conçues pour recevoir des signaux d'entrée ou envoyer des signaux de sortie et peuvent être programmées pour différentes tâches. Les broches peuvent être utilisées pour lire les signaux de capteurs, contrôler des actionneurs tels que des moteurs ou des LED, et communiquer avec d'autres circuits électroniques.

En outre, les cartes Arduino ont généralement une connectivité sans fil pour une utilisation dans des projets IoT. Cette connectivité peut être utilisée pour communiquer avec d'autres appareils sans fil ou pour se connecter à Internet, permettant ainsi aux projets de capter et d'envoyer des

données à distance. Cela ouvre la porte à de nombreuses possibilités pour des projets IoT tels que la surveillance environnementale, la domotique, la robotique, etc. [17]

IV.5 Applications d'Arduino

Les applications d'Arduino sont très variées et peuvent être utilisées dans de nombreux projets différents qui nécessitent de l'électronique programmable. Par exemple, dans la domotique, Arduino peut être utilisé pour contrôler les lumières, la température, les systèmes de sécurité, etc. Dans la robotique, il peut être utilisé pour contrôler les moteurs, les capteurs, les bras robotiques, etc. Dans l'automatisation, Arduino peut être utilisé pour contrôler les machines, les processus de fabrication, etc. Dans les systèmes de contrôle, il peut être utilisé pour contrôler les systèmes de navigation, les systèmes de guidage, etc. Enfin, dans la surveillance environnementale, Arduino peut être utilisé pour surveiller la qualité de l'air, de l'eau, les niveaux de bruit, etc.

IV.6 Fonctionnement d'Arduino

Le fonctionnement d'Arduino repose sur la programmation de la carte, qui peut être réalisée en utilisant le langage de programmation C/C++. Pour programmer la carte, on utilise l'environnement de développement intégré (IDE) qui permet de saisir le code, de le compiler et de le télécharger sur la carte.

Une fois que le programme est téléchargé sur la carte, il peut être exécuté pour effectuer des tâches spécifiques en fonction des instructions programmées. Les tâches peuvent être très variées, en fonction des composants électroniques connectés à la carte. Par exemple, on peut utiliser la carte Arduino pour allumer une LED, mesurer la température avec un capteur, commander un moteur ou encore lire des données provenant d'un module GPS.

En somme, le fonctionnement d'Arduino est basé sur la programmation de la carte via l'IDE, ce qui permet de réaliser des tâches spécifiques en fonction des composants électroniques connectés à la carte.[18]

IV.7 Spécifications d'Arduino

Les spécifications de la carte Arduino peuvent varier selon le modèle, mais en général, les spécifications communes sont les suivantes :

- **Microcontrôleur** : Les cartes Arduino sont généralement équipées d'un microcontrôleur de la famille AVR ou SAM. Les microcontrôleurs peuvent être cadencés entre 8 et 32 MHz, selon le modèle.
- **Mémoire** : La carte Arduino possède une mémoire flash pour stocker le code du programme et une mémoire SRAM pour stocker les variables en cours d'utilisation. Les capacités de la mémoire varient selon le modèle de la carte.
- **Entrées/sorties** : Les cartes Arduino possèdent des broches d'entrée/sortie (GPIO) pour connecter des capteurs, des actionneurs ou d'autres composants électroniques. Les broches sont numérotées et peuvent être configurées en entrée ou en sortie.
- **Interfaces de communication** : Les cartes Arduino sont généralement équipées de plusieurs interfaces de communication telles que le port série (UART), le bus SPI et le bus I2C.
- **Alimentation** : La carte Arduino peut être alimentée via un port USB, une source d'alimentation externe ou une batterie. La tension d'alimentation peut varier selon le modèle.
- **Environnement de développement intégré (IDE)** : L'IDE Arduino est un logiciel open-source qui permet d'écrire, de compiler et de téléverser le code du programme sur la carte Arduino. Il est disponible pour les systèmes d'exploitation Windows, Mac OS et Linux.

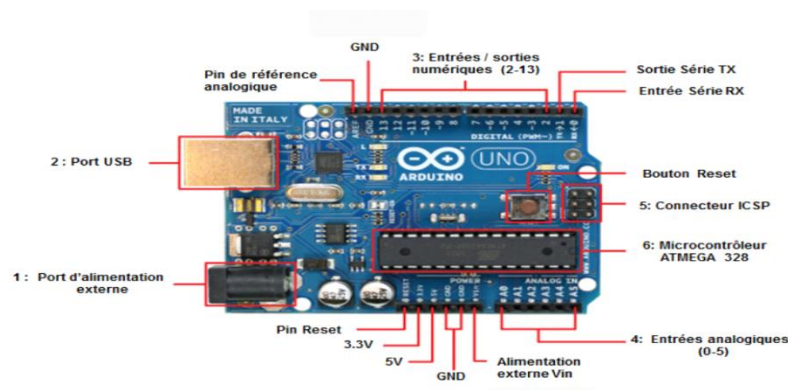


Figure IV.2 Constitution de la carte Arduino UNO

IV.8 La relation entre ARDUINO, IOT et les capteurs

Arduino est étroitement lié à l'Internet des Objets (IoT) et aux capteurs, car il permet de créer des systèmes électroniques connectés et autonomes capables de collecter et de transmettre des données. Les capteurs sont des éléments clés dans les systèmes IoT, car ils sont utilisés pour mesurer et surveiller les conditions environnementales, telles que la température, l'humidité, la pression, la lumière et les mouvements.

Arduino est particulièrement bien adapté pour la connexion à des capteurs, car il possède de nombreuses entrées analogiques et numériques qui permettent de recevoir des signaux en provenance des capteurs. En outre, Arduino est compatible avec une grande variété de capteurs et de modules, ce qui en fait un choix populaire pour la création de systèmes IoT.

Arduino permet également de traiter les données des capteurs et de les transmettre à d'autres appareils ou plateformes, telles que des smartphones, des ordinateurs ou des serveurs en nuage, grâce à ses interfaces de communication, telles que le WiFi, le Bluetooth, le bus série et les protocoles IoT populaires, tels que MQTT.

Avec l'utilisation d'Arduino, il est possible de créer des systèmes IoT avancés qui peuvent effectuer des tâches complexes en temps réel, telles que la surveillance de l'environnement, la gestion de l'énergie, la sécurité et la santé, tout en étant économiques et faciles à construire. En outre, Arduino est accompagné d'une grande communauté de développeurs et de ressources en ligne qui peuvent aider les utilisateurs à résoudre les problèmes et à créer des projets innovants.[19]

IV.9 La détection des incendies de forêt à travers les mouvements des animaux et les réseaux de capteurs

Les mouvements des animaux dans les forêts peuvent être utilisés comme des indicateurs pour détecter les incendies. En effet, les animaux peuvent sentir les changements dans l'air et le sol, tels que les mouvements et la fumée, et ils peuvent être en mesure de détecter les incendies avant qu'ils ne soient visibles à l'œil nu.

Par exemple, les oiseaux peuvent voler à des altitudes élevées et détecter la fumée provenant d'un incendie, tandis que les animaux terrestres peuvent sentir les odeurs et les températures inhabituelles et se déplacer vers des zones plus sûres. Ces mouvements peuvent être surveillés en temps réel à l'aide de capteurs de mouvement et de positionnement, tels que des capteurs infrarouges, des GPS et des accéléromètres.

En utilisant des réseaux de capteurs, ces mouvements peuvent être détectés et analysés pour déterminer la localisation et la propagation des incendies. Les capteurs peuvent être installés dans des zones clés de la forêt, tels que les zones à risque élevé d'incendie, et les données collectées peuvent être transmises à un centre de surveillance en temps réel, où elles peuvent être analysées et utilisées pour prévoir les mouvements futurs des animaux et de l'incendie.

En outre, les capteurs peuvent également être utilisés pour détecter les feux de forêt avant qu'ils ne se propagent. Les capteurs peuvent être équipés de détecteurs de fumée et de chaleur, qui peuvent être utilisés pour détecter les incendies à un stade précoce, avant qu'ils ne deviennent incontrôlables.

En somme, les mouvements des animaux de la forêt peuvent être utilisés comme des indicateurs pour détecter les incendies, et les réseaux de capteurs peuvent être utilisés pour collecter et transmettre des données en temps réel pour la surveillance et la prévention des incendies de forêt.

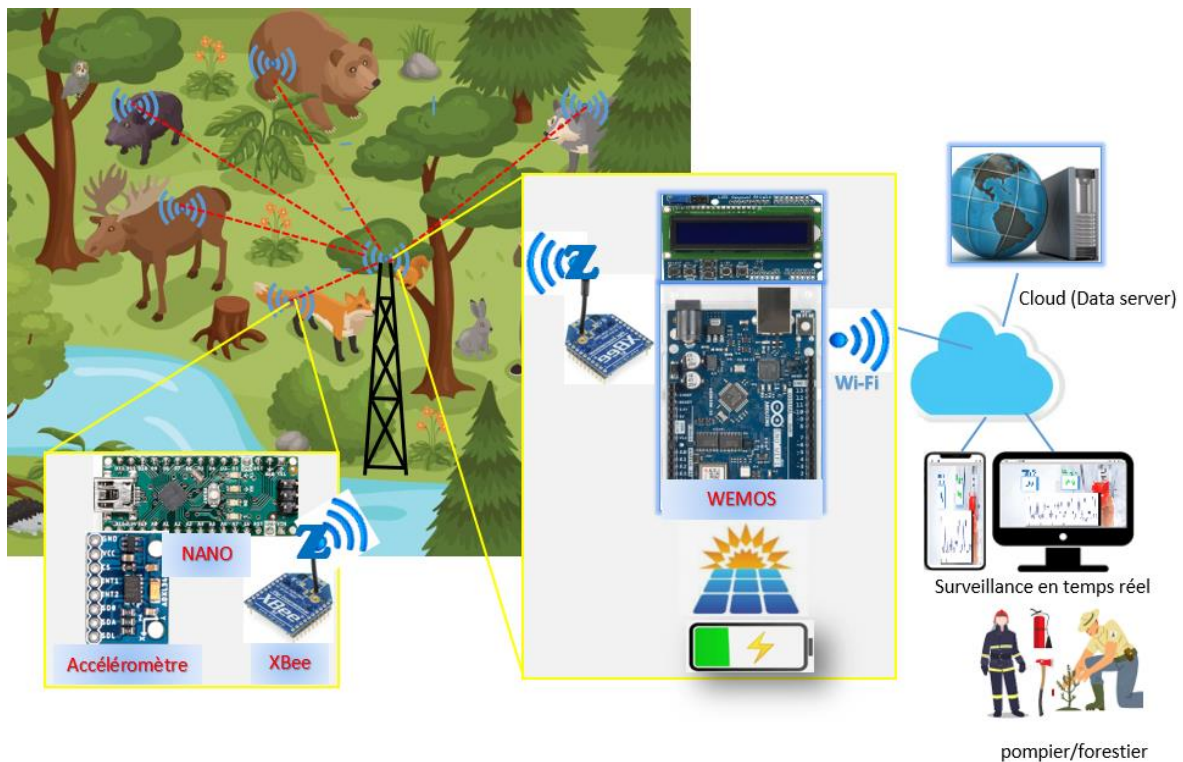


Figure IV.3 Schéma général illustrant le travail réalisé

IV.10 Capteur accéléromètre

Un accéléromètre est un capteur de mouvement qui mesure l'accélération linéaire d'un objet. Il mesure l'accélération en fonction de la force exercée sur un objet ou une masse et peut être utilisé pour détecter les mouvements, les inclinaisons et les vibrations. [20]



ACCÉLÉROMÈTRE

Figure IV.4 Capteur accéléromètre

IV.10.1 Caractéristiques :

Les accéléromètres ont plusieurs caractéristiques importantes à prendre en compte lors du choix d'un capteur pour un projet spécifique. Certaines de ces caractéristiques comprennent :

- **Sensibilité** : la capacité de l'accéléromètre à mesurer de petites variations de l'accélération
- **Gamme de mesure** : la plage d'accélération que l'accéléromètre est capable de mesurer
- **Résolution** : la plus petite variation de l'accélération que l'accéléromètre peut mesurer avec précision
- **Fréquence de réponse** : la plage de fréquences auxquelles l'accéléromètre peut détecter les changements d'accélération
- **Précision** : la mesure de la précision de l'accéléromètre par rapport à une valeur de référence

IV.10.2 Types :

Il existe plusieurs types d'accéléromètres, notamment :

-**Accéléromètres piézoélectriques** : utilisent des cristaux piézoélectriques pour mesurer l'accélération



Figure IV.5 capture Accéléromètres piézoélectriques

-**Accéléromètres capacitifs** : mesurent les variations de la capacité électrique pour déterminer l'accélération



Figure IV.6 Capture Accéléromètres capacitifs

-Accéléromètres MEMS : utilisent des microsystèmes électromécaniques pour mesurer l'accélération



Figure IV.7 capture Accéléromètres MEMS

IV.10.3 Rôle :

L'accéléromètre peut être utilisé dans de nombreuses applications, telles que la surveillance des mouvements et des inclinaisons dans les appareils électroniques tels que les smartphones, les drones, les consoles de jeux, les appareils photo et bien plus encore. Dans le cas de la surveillance des animaux pour détecter les incendies, l'accéléromètre peut être utilisé pour détecter les mouvements des animaux et déterminer leur emplacement. Cette information peut être utilisée en conjonction avec d'autres capteurs pour détecter les changements de température et d'humidité qui indiquent la présence d'un incendie. Les données collectées par l'accéléromètre peuvent également être transmises sans fil pour une surveillance à distance et une alerte précoce en cas de danger.

IV.11 Configuration de l'IDE Arduino

Tout d'abord, nous avons besoin de la bibliothèque ADXL345 Arduino. Ouvrez Arduino IDE (ver. 1.8.9) puis allez dans Outils > Gérer les bibliothèques.

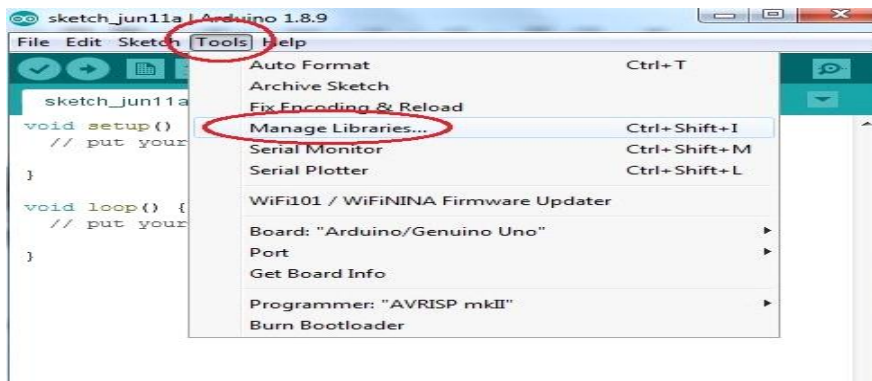


Figure IV.8 Interface Arduino IDE

Le Gestionnaire de bibliothèque apparaît maintenant. Dans le champ de recherche, tapez « Adafruit ADXL345 », appuyez sur Entrée et la bibliothèque devrait apparaître.

<<

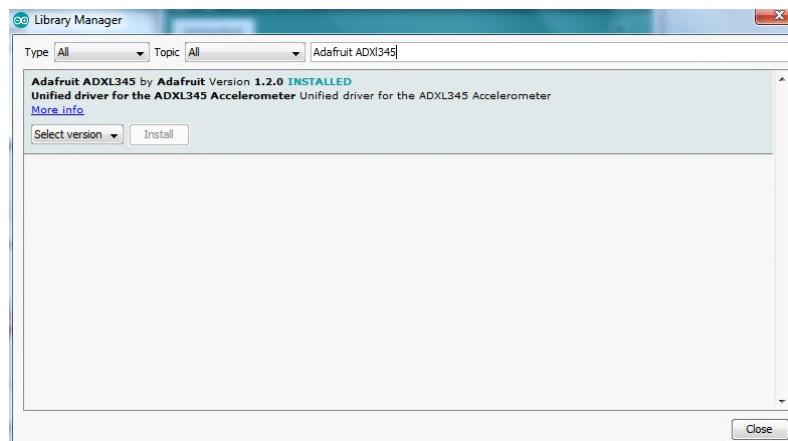


Figure IV.9 Mémoriser une bibliothèque Arduino ADXL345

Nous devons également installer la bibliothèque Unified Sensor :

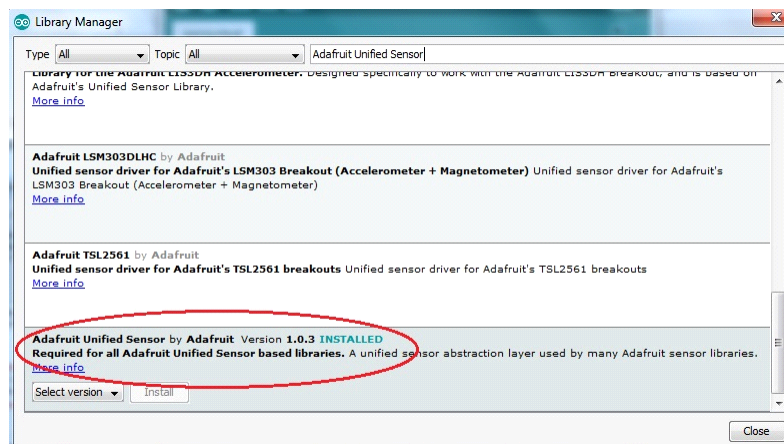


Figure IV.10 .Bibliothèque Unified sensor

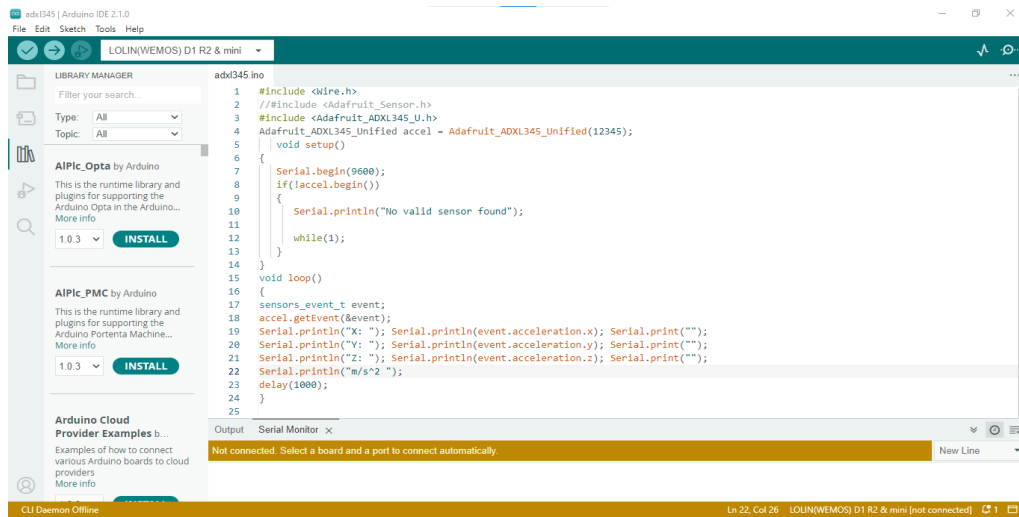


Figure IV.11 capture d'écran du code

Pour utiliser ce croquis, suivez ce schéma de câblage :

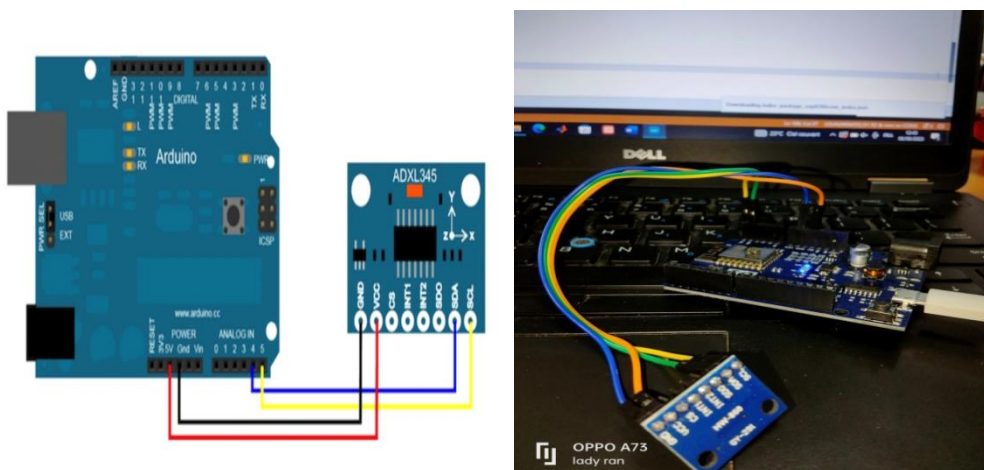


Figure IV.12 Schéma de câblage

Sur Serial Monitor. Les valeurs d'accélération sont maintenant visibles :

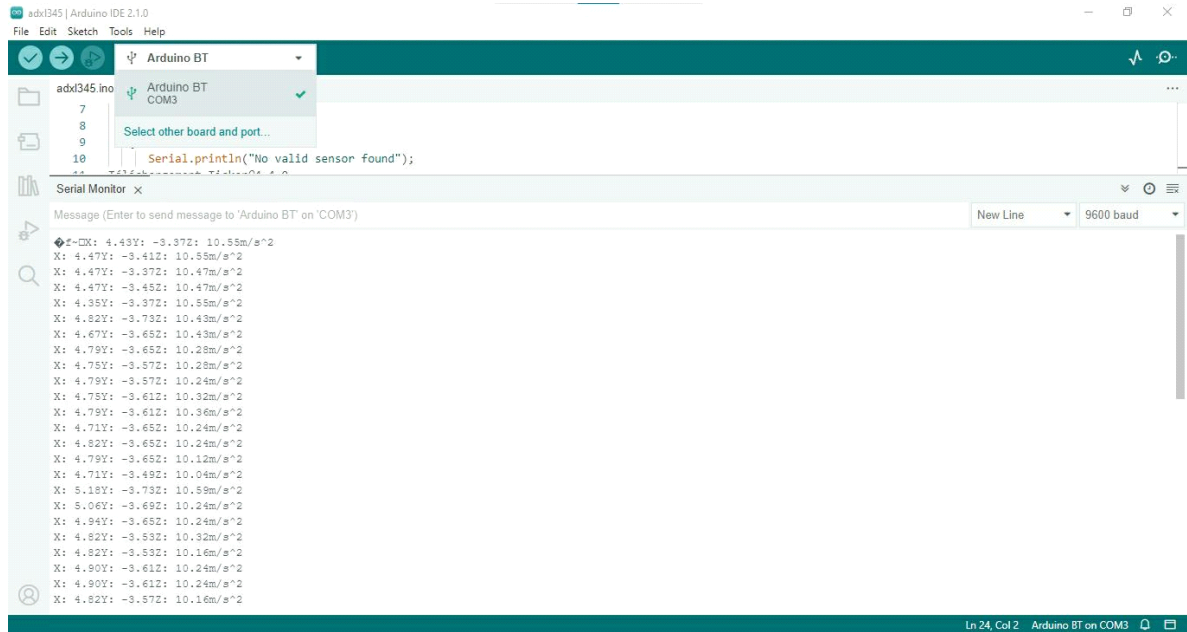


Figure 4.13 capture d'écran de la valeur d'accélération
La bibliothèque convertit la sortie en m/s2 au lieu d'unités g.

IV.12 XBee

IV.12.1 Description des modules XBee :

Les modules XBee sont des modules de communication sans fil basés sur le protocole Zigbee. Ils sont compacts, faciles à utiliser et offrent une faible consommation d'énergie. Les modules XBee sont disponibles dans différentes configurations, notamment des modules pour les communications à courte portée (XBee 802.15.4) et des modules pour les communications longue portée (XBee-PRO).[21]

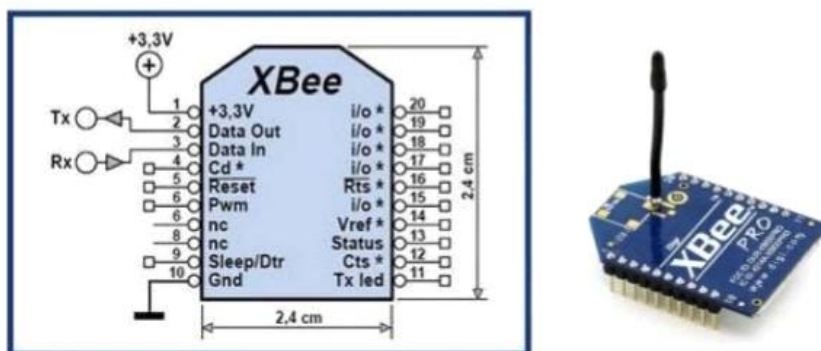


Figure 4.14 Module Xbee pro

IV.12.2 Configuration des modules XBee :

Les modules XBee peuvent être configurés à l'aide du logiciel XCTU (Xbee Configuration and Test Utility). XCTU permet de configurer différents paramètres, tels que la vitesse de transmission, le canal de communication, la sécurité et bien d'autres. Grâce à cette flexibilité de configuration, les modules XBee peuvent être adaptés aux besoins spécifiques de notre projet.

IV.12.3 Intégration avec les capteurs de mouvement :

Les modules XBee peuvent être connectés aux capteurs de mouvement des animaux à l'aide d'interfaces appropriées, comme des ports série ou des broches d'entrée/sortie. Les modules XBee sont compatibles avec différents protocoles de communication, tels que UART (Universal Asynchronous Receiver-Transmitter), SPI (Serial Peripheral Interface) ou I2C (Inter-Integrated Circuit), ce qui facilite leur intégration avec une large gamme de capteurs.[22]

IV.12.4 Transmission des données :

Les modules XBee permettent la transmission fiable des données entre les capteurs de mouvement des animaux et la station de surveillance des incendies. Ils prennent en charge différents modes de transmission, tels que le mode point à point (où un module communique directement avec un autre module) et le mode en réseau (où plusieurs modules peuvent former un réseau maillé). Les modules XBee offrent une portée de communication pouvant aller jusqu'à plusieurs centaines de mètres, en fonction du modèle utilisé.

IV.12.5 Sécurité des données :

Les modules XBee intègrent des fonctionnalités de sécurité pour protéger les données transmises. Ils prennent en charge le chiffrement des données à l'aide d'algorithmes robustes, garantissant ainsi la confidentialité et l'intégrité des informations transmises. Les paramètres de sécurité, tels que les clés de chiffrement, peuvent être configurés à l'aide de XCTU.

IV.12.6 Gestion de l'énergie :

Les modules XBee sont conçus pour optimiser la consommation d'énergie. Ils peuvent être mis en veille lorsqu'ils ne sont pas utilisés, ce qui réduit considérablement la consommation d'énergie. Certains modules XBee offrent également des fonctionnalités de mise en veille prolongée, permettant de prolonger la durée de vie des batteries. Cela les rend idéaux pour les applications autonomes sur batterie, telles que la surveillance des animaux dans la forêt.

En utilisant les modules XBee dans notre projet, nous pourrions bénéficier d'une communication sans fil fiable, d'une sécurité des données et d'une gestion efficace de l'énergie. Ces fonctionnalités contribueront à la surveillance des animaux dans la forêt pour détecter les incendies et prendre des mesures préventives appropriées.

IV.13 Base de données :

Une base de données est une collection organisée de données structurées qui sont stockées de manière persistante sur un système de stockage. Elle permet de stocker des informations de manière structurée, ce qui facilite la gestion, la recherche et l'analyse des données.

Les bases de données jouent un rôle essentiel dans le stockage, la gestion et la récupération de grandes quantités de données. Elles sont utilisées dans divers domaines tels que les entreprises, les applications web, la science, les gouvernements, etc. Une base de données bien conçue permet de stocker, organiser et manipuler les données de manière efficace.

IV.13.1 Composants d'une base de données :

- Système de gestion de base de données (SGBD) : Un SGBD est un logiciel utilisé pour créer, manipuler et interroger une base de données. Dans cet exemple, nous utiliserons XAMPP, une suite logicielle qui comprend un SGBD MySQL, un serveur Apache et d'autres outils nécessaires pour le développement web.

-Tables : Une base de données est composée de tables qui contiennent les données. Chaque table est constituée de colonnes (attributs) qui définissent les types de données et les propriétés des informations à stocker. Les lignes dans une table représentent des enregistrements individuels contenant les données spécifiques.

-Relations : Dans les bases de données relationnelles, les tables peuvent être liées entre elles à l'aide de relations. Les relations sont établies en définissant des clés primaires et des clés étrangères pour identifier et lier les enregistrements dans différentes tables. Cela permet d'établir des relations logiques entre les données.

-Requêtes : Les requêtes sont utilisées pour récupérer des données spécifiques à partir de la base de données. Le langage SQL (Structured Query Language) est couramment utilisé pour écrire et exécuter des requêtes. Les requêtes permettent de filtrer, trier, regrouper et calculer les données en fonction des critères spécifiés.

-Intégrité des données : Les bases de données offrent des mécanismes d'intégrité des données pour garantir que les données stockées sont valides et cohérentes. Cela inclut des contraintes de clé primaire, de clé étrangère, de vérification et d'autres règles qui garantissent l'intégrité des données.

-Sécurité : Les bases de données permettent de définir des autorisations et des privilèges d'accès pour contrôler qui peut accéder, modifier et manipuler les données. Cela garantit la confidentialité et la sécurité des informations stockées dans la base de données. [23]

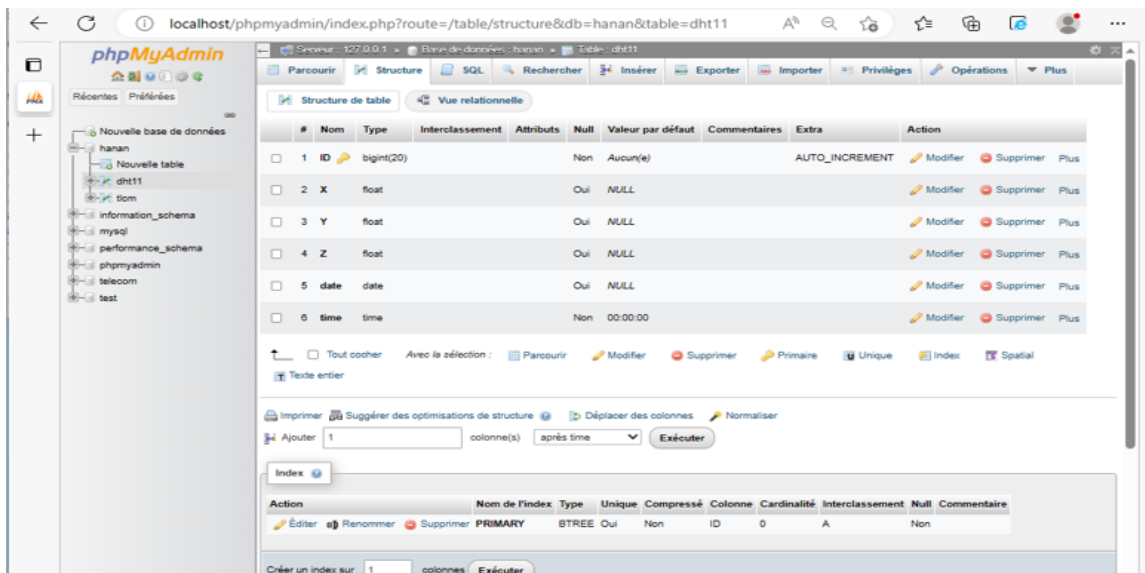


Figure 4.15 Capture d'écran de la base donnée dht11

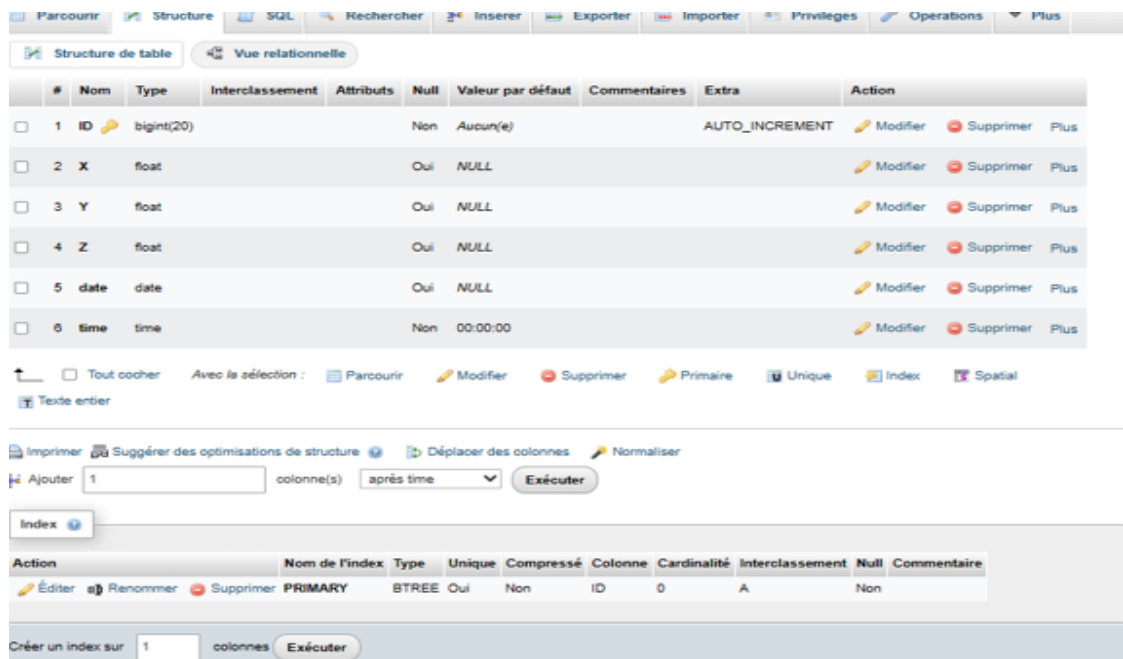


Figure 4.16 Capture d'écran de la base donnée dht12

IV.13.2 XAMPP

XAMPP est une suite de logiciels open-source qui permet de créer un environnement de développement local pour les applications web. L'acronyme "XAMPP" signifie Apache, MySQL, PHP et Perl, qui sont les principaux composants.

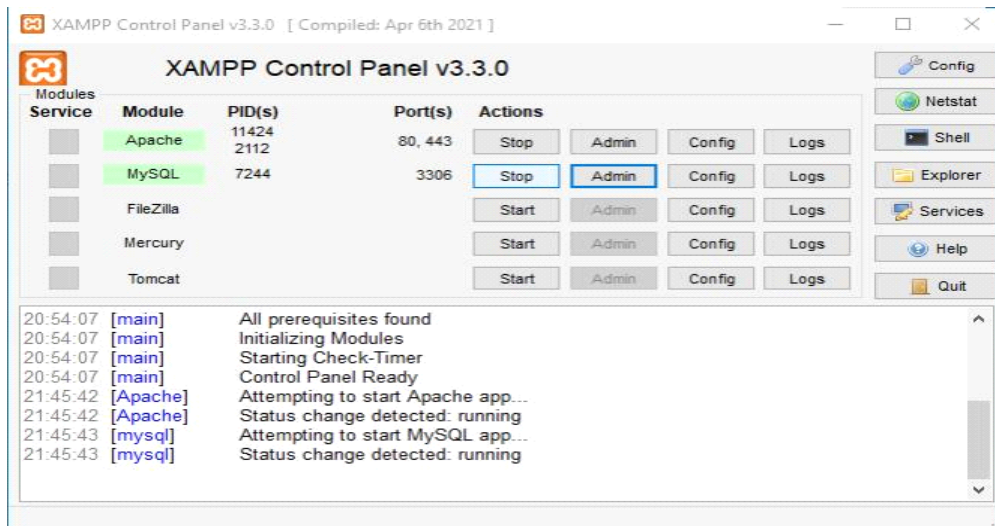


Figure IV.17 capture d'écran de le xampp

-Apache : Apache est un serveur web populaire utilisé pour héberger des sites web. Il est inclus dans XAMPP pour vous permettre de développer et de tester vos applications web localement. Apache fournit un environnement sécurisé et robuste pour exécuter vos fichiers HTML, CSS, JavaScript et PHP.

-MySQL : MySQL est un système de gestion de base de données relationnelle (SGBDR) utilisé pour stocker et gérer les données de vos applications web. Il est également inclus dans XAMPP, vous permettant de créer des bases de données locales et d'interagir avec elles à l'aide du langage de requête SQL. MySQL offre une grande fiabilité, des performances élevées et une facilité d'utilisation.

-PHP : PHP est un langage de programmation côté serveur largement utilisé pour le développement web. Il est pris en charge par XAMPP, ce qui signifie que vous pouvez écrire et exécuter du code PHP sur votre environnement de développement local. PHP vous permet de créer des applications web dynamiques et d'interagir avec la base de données MySQL pour récupérer et manipuler les données.

-Perl : Perl est un langage de programmation polyvalent qui est également inclus dans XAMPP. Bien que moins utilisé que PHP dans le développement web, Perl offre des fonctionnalités puissantes

pour la manipulation de chaînes de caractères, le traitement des fichiers, la gestion des expressions régulières, etc.

En utilisant XAMPP, vous pouvez créer un serveur web local sur votre ordinateur pour développer, tester et déboguer vos applications web avant de les déployer sur un serveur distant. XAMPP offre une configuration simplifiée, une facilité d'installation et une compatibilité multiplateforme, ce qui en fait un outil idéal pour les développeurs web débutants et expérimentés. N'oubliez pas d'inclure des détails spécifiques sur la configuration et l'utilisation de XAMPP dans votre partie pratique, notamment l'installation, le démarrage des services Apache et MySQL, l'accès à l'interface d'administration de MySQL (phpMyAdmin) et la création de bases de données pour votre application. [24].

IV.14 Arduino Nano

Arduino Nano est une carte de développement basée sur un microcontrôleur ATmega328P. Elle est similaire à la carte Arduino Uno, mais avec une taille réduite, ce qui la rend idéale pour les projets où l'espace est limité.

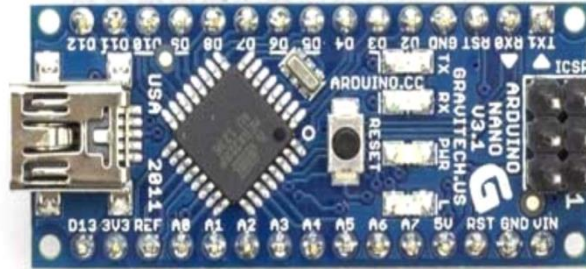


Figure IV.18 La carte Arduino Nano

Caractéristiques principales :

- Microcontrôleur : La carte Arduino Nano est équipée d'un microcontrôleur ATmega328P fonctionnant à une fréquence de 16 MHz. Il dispose de 32 Ko de mémoire flash pour le stockage du programme, 2 Ko de SRAM et 1 Ko d'EEPROM pour le stockage de données.
- Tension d'alimentation : La carte Nano peut être alimentée par une source de tension de 7 à 12 volts via la broche Vin ou de 5 volts via la broche USB.
- Entrées/sorties : La carte Arduino Nano offre 14 broches d'entrée/sortie numériques, dont 6 peuvent être utilisées comme sorties PWM, et 8 broches analogiques pour la lecture des valeurs

de capteurs. Elle dispose également de broches pour la communication série (RX, TX) et de broches d'alimentation (5V, 3.3V, GND).

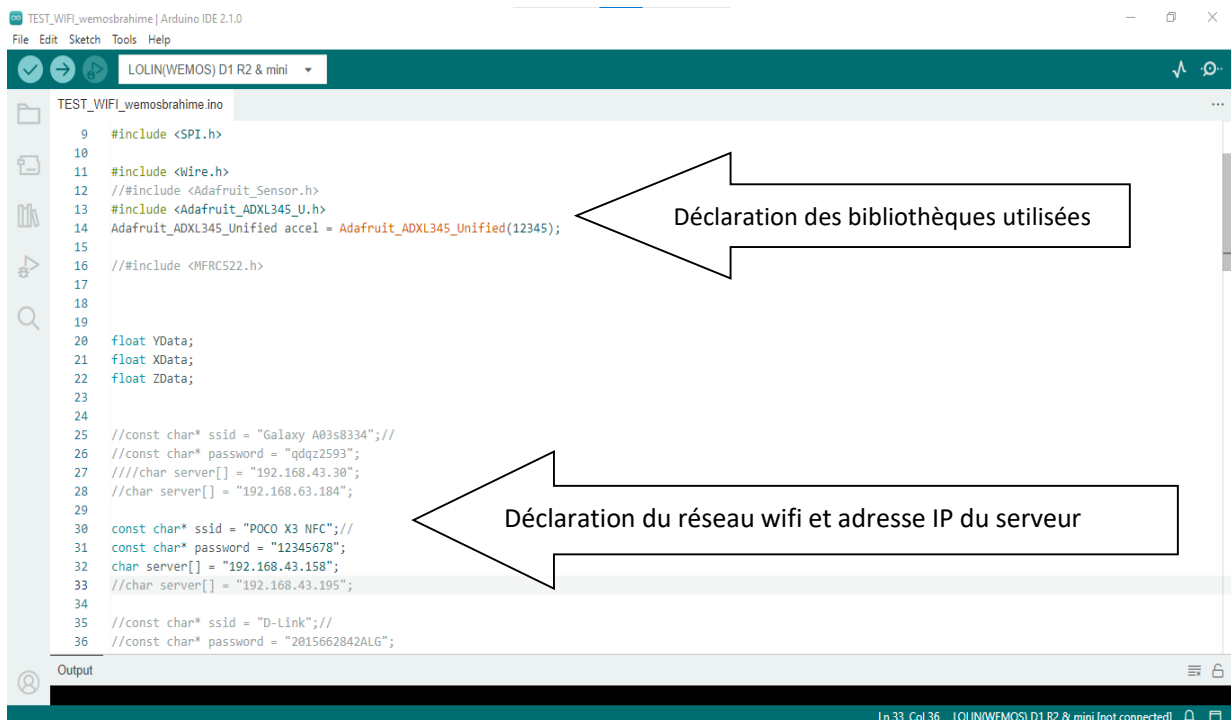
- Interfaces : La carte Nano est équipée d'un connecteur USB Mini-B pour la programmation et la communication avec l'ordinateur, ainsi que d'un connecteur ICSP (In-Circuit Serial Programming) pour la programmation directe du microcontrôleur.

Programme et développement :

La carte Arduino Nano peut être programmée à l'aide de l'environnement de développement Arduino, qui fournit un langage de programmation basé sur C/C++. L'IDE Arduino offre une interface conviviale pour écrire, télécharger et exécuter des programmes sur la carte Nano.

Utilisation :

La petite taille de la carte Arduino Nano la rend adaptée à une variété de projets électroniques compacts, tels que les robots, les capteurs portables, les dispositifs de surveillance, les contrôleurs embarqués, etc. Elle peut être facilement intégrée dans des prototypes et des produits finaux grâce à sa taille compacte [25].



```
9  #include <SPI.h>
10
11 #include <Wire.h>
12 // #include <Adafruit_Sensor.h>
13 #include <Adafruit_ADXL345_U.h>
14 Adafruit_ADXL345_Unified accel = Adafruit_ADXL345_Unified(12345);
15
16 // #include <MFRC522.h>
17
18
19
20 float YData;
21 float XData;
22 float ZData;
23
24
25 //const char* ssid = "Galaxy A03s8334";//
26 //const char* password = "qdz2593";
27 //char server[] = "192.168.43.30";
28 //char server[] = "192.168.63.184";
29
30 const char* ssid = "POCO X3 NFC";//
31 const char* password = "12345678";
32 char server[] = "192.168.43.158";
33 //char server[] = "192.168.43.195";
34
35 //const char* ssid = "D-Link";//
36 //const char* password = "2015662842ALG";
```

Figure IV.19 Capture d'écran du code.

Les Notifications sur les bibliothèques utilisées, les capteurs utilisés, le réseau wifi et l'adresse IP du serveur.



Figure IV.20 Capture d'écran du code

Connexion réseau internet wifi :

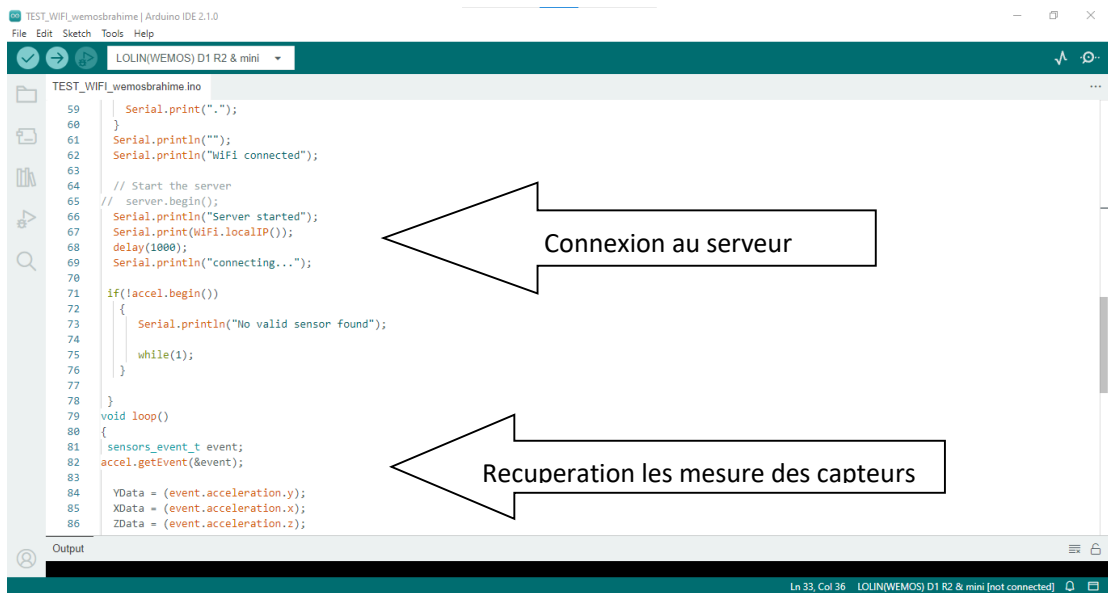
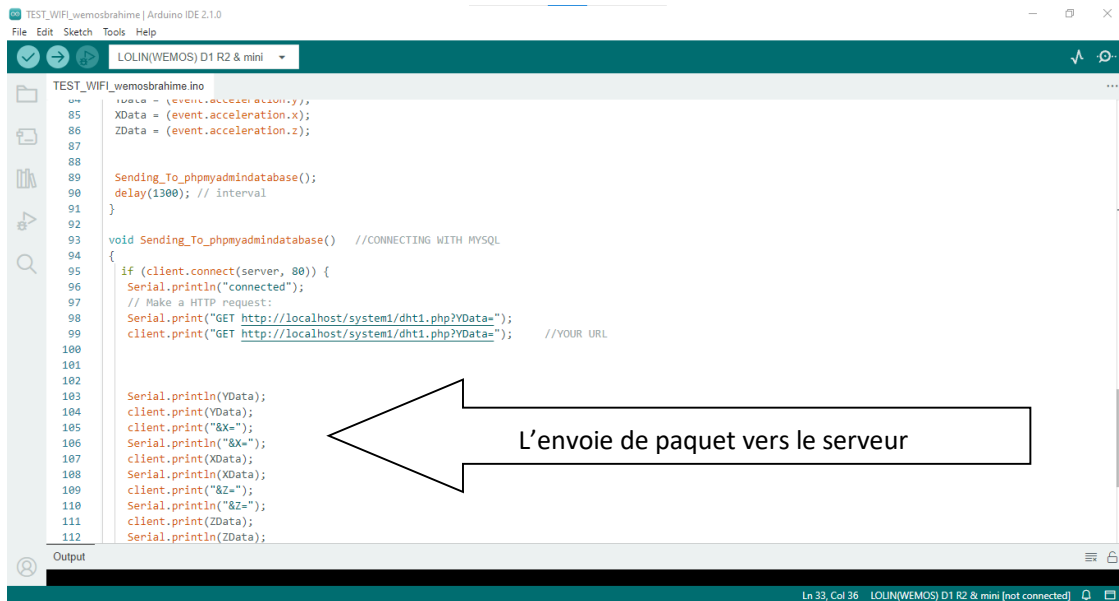


Figure IV.21 Capture d'écran du code

Connexion au serveur et récupération les mesures des capteurs :



```

TEST_WIFI_wemosbrahime | Arduino IDE 2.1.0
File Edit Sketch Tools Help
LOLIN(WEMOS) D1 R2 & mini
TEST_WIFI_wemosbrahime.ino
85 XData = (event.acceleration.x);
86 ZData = (event.acceleration.z);
87
88
89 Sending_To_phpmyadmindatabase();
90 delay(1300); // interval
91 }
92
93 void Sending_To_phpmyadmindatabase() //CONNECTING WITH MYSQL
94 {
95 if (client.connect(server, 80)) {
96 Serial.println("connected");
97 // Make a HTTP request:
98 Serial.print("GET http://localhost/system1/dht1.php?YData=");
99 client.print("http://localhost/system1/dht1.php?YData="); //YOUR URL
100
101
102
103 Serial.println(YData);
104 client.print(YData);
105 client.print("&x=");
106 Serial.println("&x=");
107 client.print(XData);
108 Serial.println(XData);
109 client.print("&z=");
110 Serial.println("&z=");
111 client.print(ZData);
112 Serial.println(ZData);
Output
Ln 33, Col 36 LOLIN(WEMOS) D1 R2 & mini [not connected]

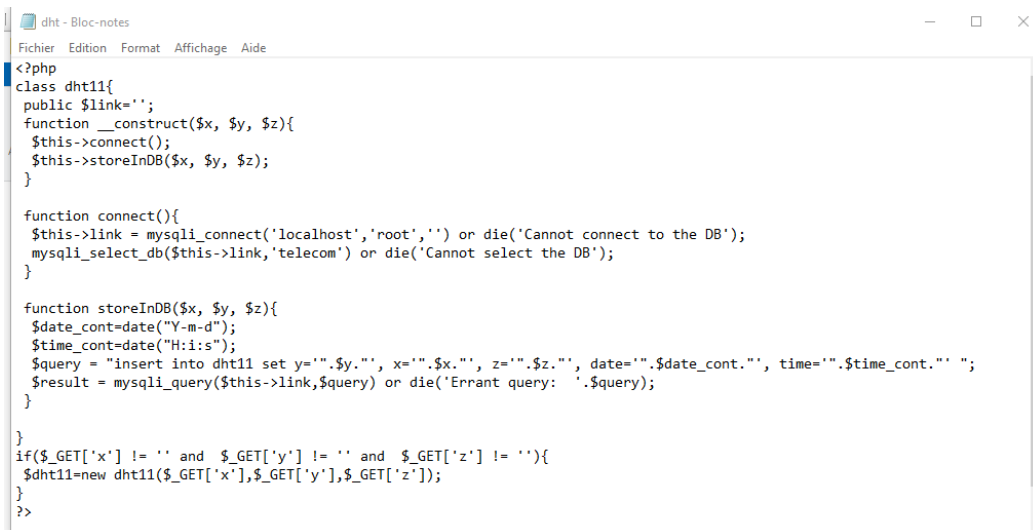
```

Figure IV.22 Capture d'écran du code

L'envoi des données à la page de réception à partir de la base de données

IV.15 Page de réception de dht11et dht12

La figure intitulée "Page de réception de DHT11 et DHT12" présente l'interface graphique de la page de réception qui joue un rôle crucial dans le processus de collecte et de stockage des informations provenant des capteurs et présenter sur DHT11 et DHT12 via un réseau WiFi. Elle illustre la manière dont les informations provenant de ces capteurs sont affichées et sauvegardées pour être ultérieurement envoyées à une base de données.



```

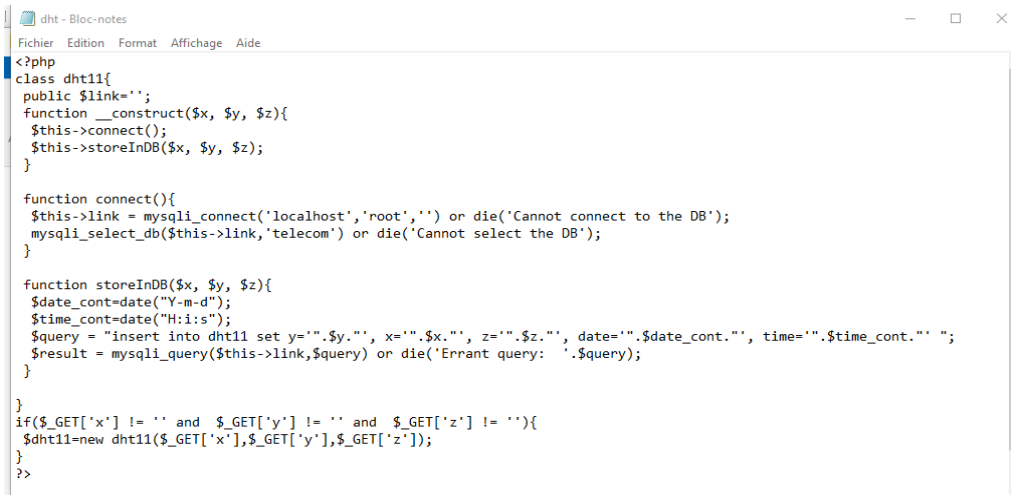
dht - Bloc-notes
Fichier Edition Format Affichage Aide
<?php
class dht11{
public $link='';
function __construct($x, $y, $z){
$this->connect();
$this->storeInDB($x, $y, $z);
}

function connect(){
$this->link = mysqli_connect('localhost','root','') or die('Cannot connect to the DB');
mysqli_select_db($this->link,'telecom') or die('Cannot select the DB');
}

function storeInDB($x, $y, $z){
$date_cont=date("Y-m-d");
$time_cont=date("H:i:s");
$query = "insert into dht11 set y='".$y."', x='".$x."', z='".$z."', date='".$date_cont."', time='".$time_cont."' ";
$result = mysqli_query($this->link,$query) or die('Errant query: '.$query);
}
}
if($_GET['x'] != '' and $_GET['y'] != '' and $_GET['z'] != ''){
$dht11=new dht11($_GET['x'],$_GET['y'],$_GET['z']);
}
?>

```

Figure IV.23 Page de réception de dht11



```
dht - Bloc-notes
Fichier Edition Format Affichage Aide
<?php
class dht11{
public $link='';
function __construct($x, $y, $z){
$this->connect();
$this->storeInDB($x, $y, $z);
}

function connect(){
$this->link = mysqli_connect('localhost','root','') or die('Cannot connect to the DB');
mysqli_select_db($this->link,'telecom') or die('Cannot select the DB');
}

function storeInDB($x, $y, $z){
$date_cont=date("Y-m-d");
$time_cont=date("H:i:s");
$query = "insert into dht11 set y='".$y."', x='".$x."', z='".$z."', date='".$date_cont."', time='".$time_cont."' ";
$result = mysqli_query($this->link,$query) or die('Errant query: '.$query);
}
}
if($_GET['x'] != '' and $_GET['y'] != '' and $_GET['z'] != ''){
$dht11=new dht11($_GET['x'],$_GET['y'],$_GET['z']);
}
?>
```

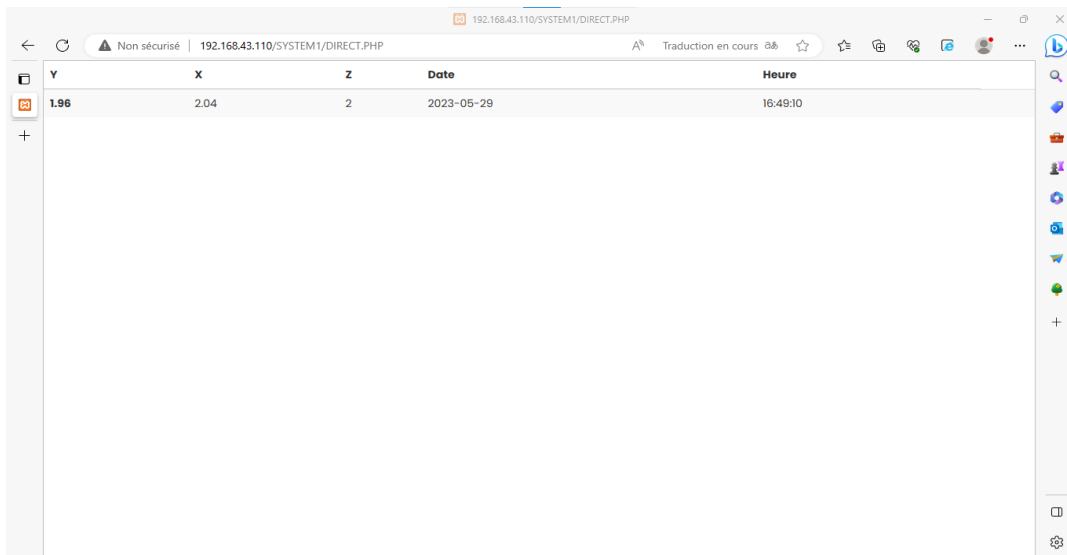
Figure IV.24 Page de réception de dht12

IV.16 Partie serveur

Le serveur assure la réception en temps réel des données provenant de divers nœuds distants. Ces données sont ensuite enregistrées dans une base de données hébergée sur le même serveur. Cette configuration permet une visualisation à distance des données, qu'il s'agisse de représentations numériques ou graphiques, en ligne ou hors ligne. Pour cette tâche, nous utilisons le package XAMPP, qui comprend le serveur Apache, accompagné de MySQL (système de gestion de base de données), PHP (langage de script côté serveur), FileZilla FTP Server et Mercury Mail Transport System.

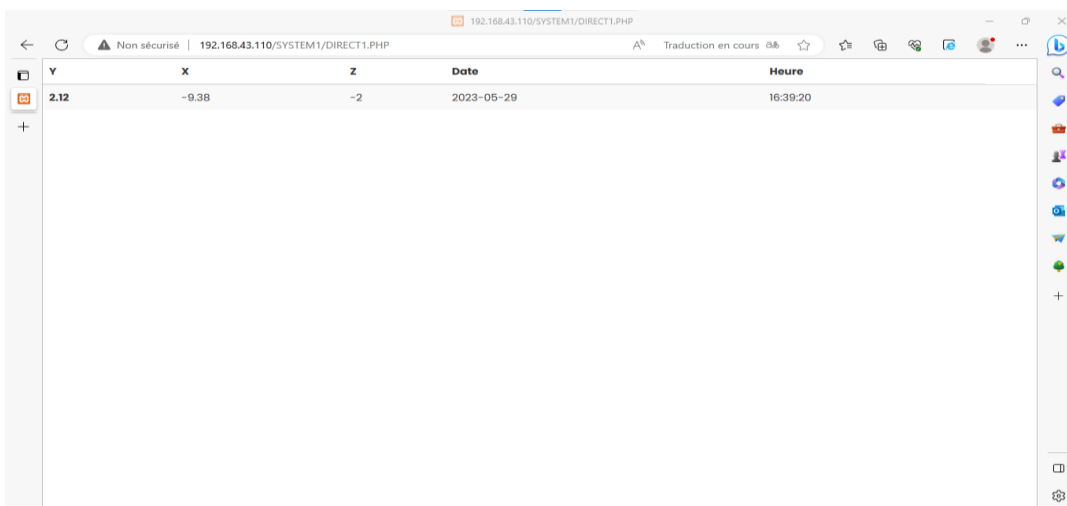
IV.17 Page de réception

Cette partie du script permet de recevoir les données envoyées par les nœuds de manière persistante et en temps réel. Il permet également à l'utilisateur local de visualiser les données acquises. Ceci est une page d'accès local et n'est pas publique. Comme indiqué sur la figure suivant.



Y	X	Z	Date	Heure
1.96	2.04	2	2023-05-29	16:49:10

Figure IV.25 Capture d'écran de la page de réception des données de DHT11



Y	X	Z	Date	Heure
2.12	-9.38	-2	2023-05-29	16:39:20

Figure IV.26 Capture d'écran de la page de réception des données de DHT12

On a opté la création d'une base de données avec MySQL, comme on peut le voir sur la figure suivant, la base est composée d'un tableau de 6 colonnes :

Id(numéro de donnée),X(X),Y(Y),Z(Z),date(la date),time(l'heure) .

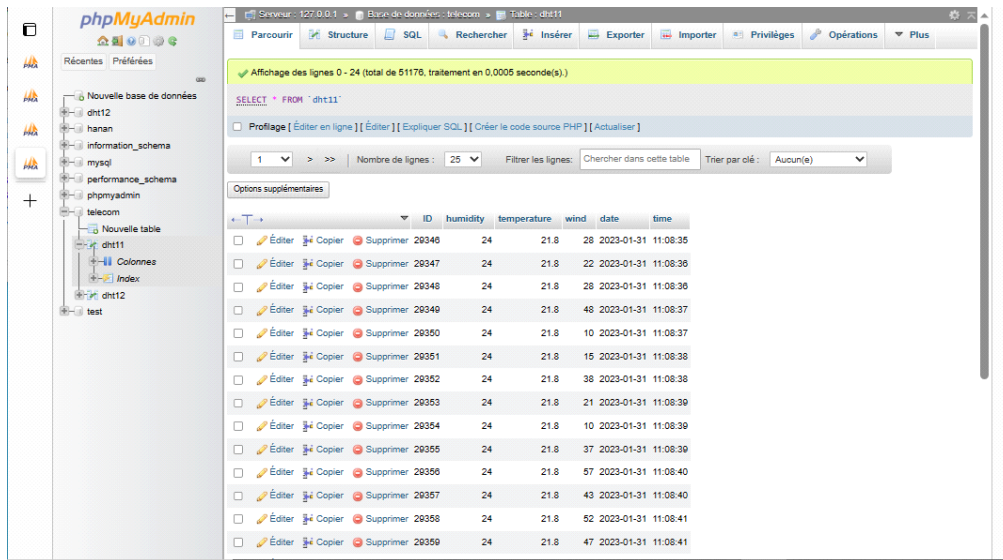


Figure IV .27 capture d'écran de la base donnée crée dht11

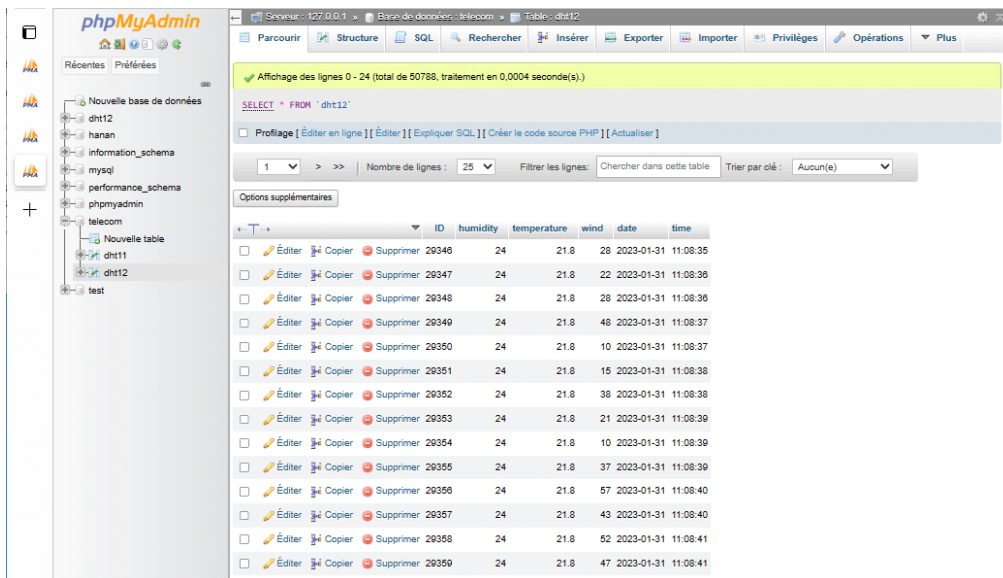


Figure IV .28 capture d'écran de la base donnée crée dht12

Les adresses IP sont utilisées par Arduino pour établir des connexions avec des serveurs de base de données en spécifiant la destination des requêtes et des données. En comprenant les principes de base des adresses IP et en les utilisant correctement dans notre code Arduino, nous pouvons permettre à notre appareil de communiquer efficacement avec les bases de données et d'effectuer des opérations de lecture et d'écriture de données.

IV.18 Interface d'accès graphique

L'interface graphique de la page web offre aux utilisateurs une expérience visuelle conviviale et intuitive. Elle utilise des technologies telles que HTML, CSS et JavaScript pour créer des éléments visuels attrayants et interactifs. Cette interface comprend des éléments de conception organisés tels que des menus déroulants, des boutons et des icônes pour faciliter la navigation. Elle présente les données de manière visuellement attrayante avec des graphiques, des tableaux ou des diagrammes. L'interface graphique est responsive, s'adaptant à différentes tailles d'écran et appareils. Elle offre aux utilisateurs une expérience visuelle agréable et une interaction facilitée avec les fonctionnalités de la page web.

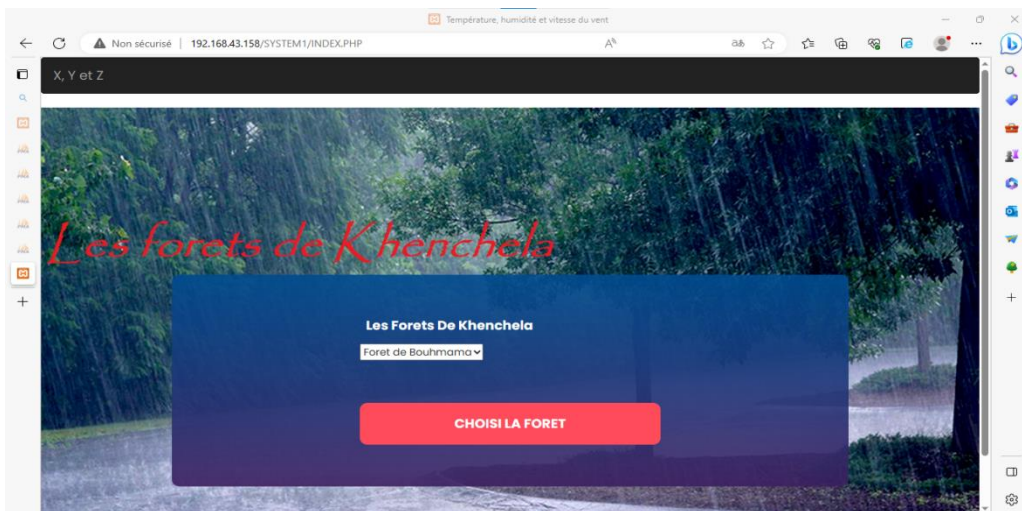


Figure IV.29 Page home de l'interface graphique

Une fois que l'utilisateur a sélectionné la forêt à afficher, il doit saisir un nœud, car il peut parfois y avoir plusieurs nœuds dans la forêt. (Figure IV.26)

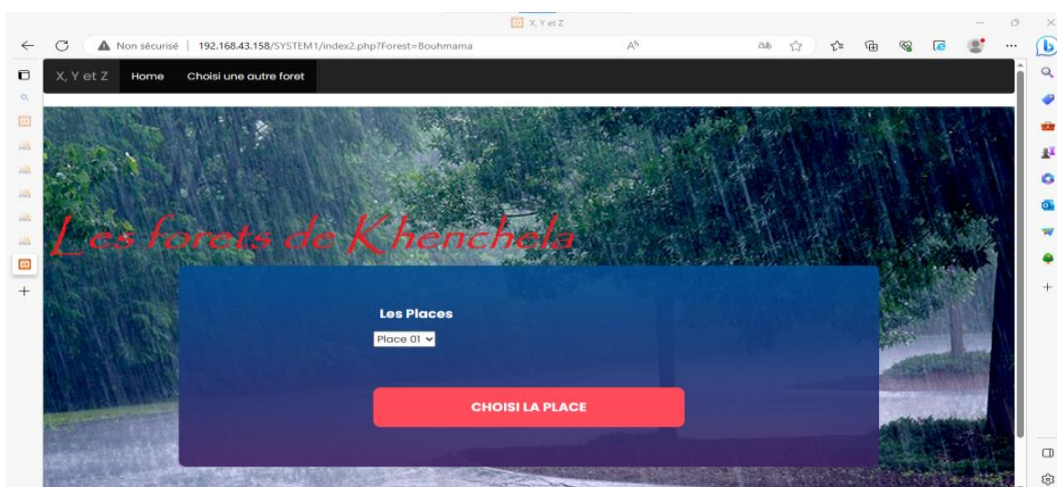


Figure IV.30 page home de l'interface graphique

Pour l'affichage graphique, l'utilisateur doit définir la période à consulter. Cela est garanti par la page web suivante (Figure IV.27).

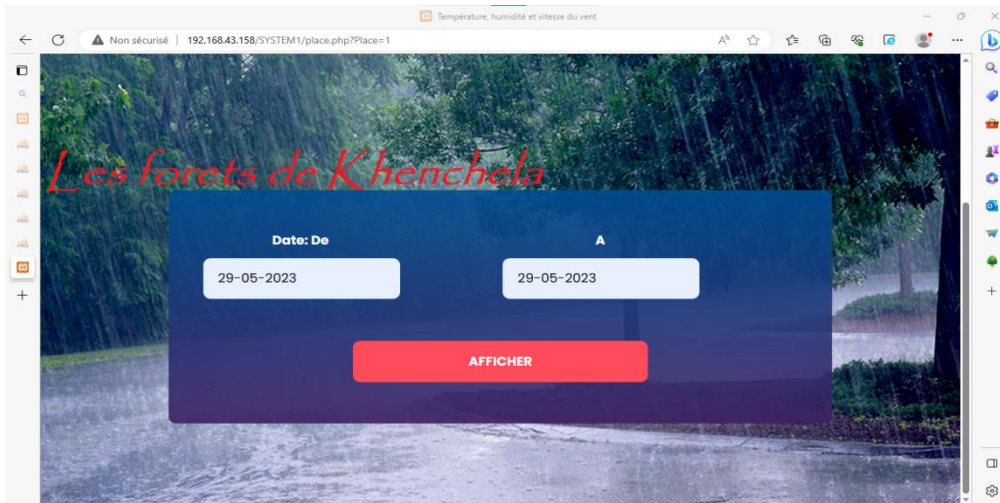


Figure IV.31 page home du nœud.

La représentation graphique des données ou la visualisation des données sert à résumer visuellement les données. Vous pouvez voir la tendance générale en un coup d'œil. Il fournit une attaque de première ligne et révèle des structures complexes dans des données qui seraient autrement incompréhensibles. Cela vous permet de découvrir des résultats inattendus ou de contester les conclusions attendues. À cette fin, nous avons développé un site Web qui présente les données sous forme graphique.

Nous avons ajouté des fonctionnalités à la page pour faciliter l'observation et l'analyse des données. Par exemple le placement du curseur de la souris sur le graphe permet d'afficher des informations telle que : la valeur de mouvement, la date et heure .Comme il est illustre sur la figure. En plus, d'autres fonctions de sauvegarde et d'impression.

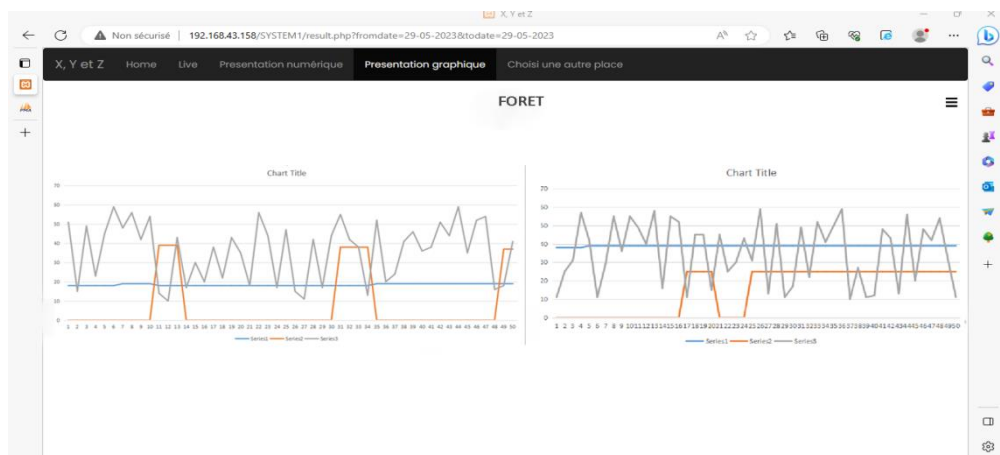


Figure IV.32 Page de la présentation graphique des données

L'affichage des données peut être sous forme numérique sur une page Web comme on peut l'observer sur la figure IV.29 et figure IV.30).

ID	Y	X	Z	date	time
29346	24	21.8		28 31/01/2023	11:08:35
29347	24	21.8		22 31/01/2023	11:08:36
29348	24	21.8		28 31/01/2023	11:08:36
29349	24	21.8		48 31/01/2023	11:08:37
29350	24	21.8		10 31/01/2023	11:08:37
29351	24	21.8		15 31/01/2023	11:08:38
29352	24	21.8		38 31/01/2023	11:08:38
29353	24	21.8		21 31/01/2023	11:08:39
29354	24	21.8		10 31/01/2023	11:08:39
29355	24	21.8		37 31/01/2023	11:08:39
29356	24	21.8		57 31/01/2023	11:08:40
29357	24	21.8		43 31/01/2023	11:08:40
29358	24	21.8		52 31/01/2023	11:08:41
29359	24	21.8		47 31/01/2023	11:08:41
29360	24	21.8		35 31/01/2023	11:08:41
29361	24	21.8		46 31/01/2023	11:08:42
29362	24	21.8		41 31/01/2023	11:08:42
29363	24	21.8		37 31/01/2023	11:08:43
29364	24	21.8		28 31/01/2023	11:08:43
29365	24	21.8		17 31/01/2023	11:08:43
29366	24	21.8		54 31/01/2023	11:08:44
29367	24	21.8		45 31/01/2023	11:08:45

Figure IV.33 Présentation numérique des données (dht11)

ID	Y	X	Z	date	time
29346	24	21.8		28 31/01/2023	11:08:35
29347	24	21.8		22 31/01/2023	11:08:36
29348	24	21.8		28 31/01/2023	11:08:36
29349	24	21.8		48 31/01/2023	11:08:37
29350	24	21.8		10 31/01/2023	11:08:37
29351	24	21.8		15 31/01/2023	11:08:38
29352	24	21.8		38 31/01/2023	11:08:38
29353	24	21.8		21 31/01/2023	11:08:39
29354	24	21.8		10 31/01/2023	11:08:39
29355	24	21.8		37 31/01/2023	11:08:39
29356	24	21.8		57 31/01/2023	11:08:40
29357	24	21.8		43 31/01/2023	11:08:40
29358	24	21.8		52 31/01/2023	11:08:41
29359	24	21.8		47 31/01/2023	11:08:41
29360	24	21.8		35 31/01/2023	11:08:41
29361	24	21.8		46 31/01/2023	11:08:42
29362	24	21.8		41 31/01/2023	11:08:42
29363	24	21.8		37 31/01/2023	11:08:43
29364	24	21.8		28 31/01/2023	11:08:43
29365	24	21.8		17 31/01/2023	11:08:43
29366	24	21.8		54 31/01/2023	11:08:44
29367	24	21.8		45 31/01/2023	11:08:45

Figure IV.34 Présentation numérique des données (dht12)

Le résultat général de l'étude des paramètres de mouvement des animaux X.Y.Z est que ces paramètres fournissent des informations précieuses sur les déplacements des animaux dans un environnement donné. En utilisant une combinaison de capteurs de mouvement et de technologies de communication, la page web qui présente le mouvement des animaux X.Y.Z permettent de collecter et de visualiser des données en temps réel sur les trajectoires, les schémas de déplacement et les comportements des animaux.

IV.19 Conclusion

Notre étude a mis en place un système de collecte d'informations basé sur les données collectés par les capteurs et afficher dans DHT11 et DHT12 que nous avons utilisés. L'objectif principal de notre expérience est de déterminer si l'analyse des mouvements des animaux peut jouer un rôle important pour détecter les incendies de forêts. Les résultats obtenus ont démontré la faisabilité et l'efficacité de notre approche.

L'utilisation du programme Arduino nous a permis de recueillir des données numériques à partir de l'analyse des mouvements des animaux. Ces données ont ensuite été transmises et enregistrées dans une base de données centrale.

Ainsi, nous avons confirmé l'hypothèse de départ, en supposant qu'en exploitant les mouvements naturels des animaux, il est possible de développer des systèmes de détection plus sensibles et réactifs, contribuant ainsi à la prévention des catastrophes environnementales et à la protection des écosystèmes forestiers fragiles.

Conclusion Générale

CONCLUSION GENERALE

Notre mémoire de MASTER a porté sur l'étude des réseaux de capteurs, leur routage, leur importance dans le domaine de l'IoT et leur application pratique dans la détection des incendies de forêts. À travers les différents chapitres, nous avons exploré les caractéristiques, les défis et les opportunités associés aux réseaux de capteurs, en mettant en évidence leur rôle crucial dans la collecte de données à distance, la surveillance environnementale et la prévention des catastrophes.

Le premier chapitre nous a permis de comprendre les fondements des réseaux de capteurs, leur fonctionnement et leurs multiples applications. Nous avons identifié les défis auxquels sont confrontés ces réseaux, tels que les limitations de bande passante et les contraintes énergétiques, soulignant ainsi la nécessité de poursuivre les efforts de recherche et de développement pour améliorer leurs performances.

Le deuxième chapitre s'est concentré sur le routage dans les réseaux de capteurs, soulignant l'importance de protocoles efficaces pour assurer une transmission fiable et efficace des données. Nous avons examiné les différents défis liés au routage, tels que la capacité de traitement limitée des nœuds, la localisation précise et la sécurité. Des pistes de recherche ont été proposées pour améliorer le routage, notamment l'utilisation de techniques de machine Learning et l'exploitation de l'intelligence collective des nœuds.

Le troisième chapitre a mis en évidence l'importance des réseaux de capteurs dans le domaine de l'IoT, soulignant leur impact sur notre vie quotidienne. Nous avons abordé des aspects tels que l'architecture, les protocoles de communication et les enjeux de sécurité. Ce chapitre a également souligné la nécessité de poursuivre les recherches pour améliorer la gestion de l'énergie, les performances des protocoles de communication et assurer l'interopérabilité des différents systèmes IoT.

Enfin, le quatrième chapitre a présenté une application pratique de l'utilisation des capteurs avec deux pages de réception DHT11 et DHT12 dans la détection des incendies de forêts. Les résultats obtenus ont démontré l'efficacité de cette approche en exploitant les mouvements naturels des animaux pour une détection précoce des incendies.

Cette recherche a confirmé notre hypothèse initiale et ouvert de nouvelles perspectives pour la prévention des catastrophes environnementales et la protection des écosystèmes forestiers.

D'une manière plus précise, notre mémoire nous a permis de répondre à notre problématique, nous avons montré que les mouvements des animaux peuvent jouer un rôle primordial dans la détection des catastrophes naturels tel que : les incendies.

Notre travail de recherche constitue une étape importante dans l'exploration des réseaux de capteurs et de leur application pratique. Il offre des perspectives prometteuses pour l'avenir de la collecte de données à distance, la surveillance environnementale et la prévention des catastrophes. Nous espérons que ce travail contribuera à stimuler de nouvelles recherches et développements dans ce domaine en constante évolution. Les réseaux de capteurs ont un potentiel important pour l'avenir de la technologie et peuvent jouer un rôle essentiel dans la résolution de nombreux problèmes.

Bibliographie

BIBLIOGRAPHIE

- [1] Al-Fuqaha, A., Guizani, M., Mohammadi, M., Aledhari, M., & Ayyash, M. (2015). Internet of things: A survey on enabling technologies, protocols, and applications. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 17(4), 2347-2376.
- [2] Li, X., Wang, Y., Li, C., Li, J., & Li, W. (2019). Bus Topology Structure Design for Large-Scale Internet of Things Applications. *IEEE Access*, 7, 138786-138793.
- [3] Samir ATHMANI, Protocole de sécurité Pour les Réseaux de capteurs Sans Fil, Pour l'obtention du Magistère en Informatique, soutenu le: 15/07/2010.
- [4] Liu, J., Wang, Y., Wu, G., & Chen, L. (2019). A forest fire monitoring system based on wireless sensor networks. *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*, 10(8), 3075-3086.
- [5] Zhang, X., Wang, Y., & Zeng, X. (2018). Forest fire detection and alarm system based on wireless sensor networks. *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*, 9(5), 1521-1530.
- [6] Ramdani.M, Problèmes de sécurité dans les Réseaux de capteurs avec prise en charge de l'énergie , mémoire de magister, université de saad dahlab de Blida, Nov
- [7] S.Clément , « Quelques contributions dans les réseaux de capteurs sans fil: Localisation et Routage », thèse pour obtenir un diplôme de DOCTORAT, l'Université d'Avignon et des Pays de Vaucluse, 2009
- [8] K.Beydoun, « Conception d'un protocole de routage hiérarchique pour les réseaux de capteurs ». Thèse de doctorat, Spécialité : Informatique, l'u.f.r des sciences et techniques de l'université de Franche-Comté,2009.
- [9] Connectwave. 2022. Comment se compose un système IoT ? [En ligne] Disponible à : [Consulté le 4 février 2023].
- [10] Yick, J., Mukherjee, B. and Ghosal, D., 2008. Wireless sensor network survey. *Computer Networks*, 52(12), pp.2292-2330.

- [11] Puccinelli, D. and Haenggi, M., 2005. Wireless sensor networks: applications and challenges of ubiquitous sensing. *IEEE Circuits and Systems Magazine*, 5(3), pp.19-31.
- [12] <https://wikimemoires.net/2019/09/domaines-d-applications-de-l-iot/>.
[Consulté le 14 Juin 2022].
- [13] <http://taneleo.fr/internet-des-objets-application/>. [Consulté le 20 mai 2023].
- [14] Banzi, M., & Shiloh, M. (2011). "Arduino: A Quick-Start Guide." Maker Media, Inc.
- [15] Mellis, D., Banzi, M., Cuartielles, D., & Igoe, T. (2007). "Arduino: An open electronic prototyping platform." In *Proceedings of the 2007 conference on Designing Pleasurable Products and Interfaces* (pp. 105-109). ACM.
- [16] Gruson, M. (2021). *Arduino: Guide complet pour les débutants en électronique*. Paris : Éditions Techniques de l'Ingénieur.
- [17] Margolis, M. (2016). "Arduino Cookbook: Recipes to Begin, Expand, and Enhance Your Projects." O'Reilly Media.
- [18] Ristic, B., & Garg, A. (2018). "Accelerometer-Based Human Activity Recognition: A Review." *IEEE Sensors Journal*, 18(11), 4304-4318.
- [19] Digi International. (2018). "XBee/XBee-PRO RF Modules Product Manual." Retrieved from <https://www.digi.com/resources/documentation/digidocs/PDFs/90000976.pdf>
- [20] Shetty, S., & Hegde, G. (2019). "Efficient Power Management System using Wireless Sensor Network and XBee." In *2019 International Conference on Computer, Communication, and Signal Processing (ICCCSP)*. IEEE.
- [21] Silberschatz, A., Korth, H. F., & Sudarshan, S. (2010). *Database System Concepts*. McGraw-Hill.
- [22] Nixon, R. (2011). *Learning PHP, MySQL, JavaScript, and CSS: A Step-by-Step Guide to Creating Dynamic Websites*. O'Reilly Media.
- [23] Langlois, S. (2019). *Arduino Nano: A Technical Reference*. CreateSpace Independent Publishing Platform.