

Mémoire de Fin d'Etudes

*Pour l'Obtention du Diplôme de
Master en Informatique*

Présenté par :

RABAH MAZARI

MOULOUD

*Domaine : Mathématiques & Informatique
Spécialité : RSM.*

Session Juin 2017

THEME

REALISATION D'UN SYSTEME DE MONITORING DE LA QUALITE DE
L'AIRE A L'AIDE D'UN RESEAU DE CAPTEURS SANS FIL

Encadré par : Dr. B. KACHAR
Co-encadré par : Mr. N. HOUACHE

Jury

Président : Pr. H. HAFFAF
Examinateur : Dr. M. BOURENANE

CodeMaster : RSM/04/2017

*Je dédie ce modeste travail :
A mes parents qui m'ont toujours
soutenu et guidé*

Remerciements

Je tiens à remercier Dieu tout puissant qui m'a donné le courage et le soutien pendant toutes mes années d'études.

Je tiens à remercier sincèrement Monsieur B. KACHAR en tant que encadreur scientifique qui s'est toujours montré à l'écoute et étais très disponible tout au long de la réalisation de ce mémoire, ainsi pour l'inspiration, l'aide et le temps qu'il a bien voulu me consacrer et sans lui ce mémoire n'aurait jamais vu le jour.

Je tiens à remercier sincèrement Monsieur N. HOUACHE en tant que CO-encadreur scientifique qui s'est toujours montré à l'écoute et étais très disponible tout au long de la réalisation de ce mémoire, ainsi pour l'inspiration, l'aide et le temps qu'il a bien voulu me consacrer et sans lui ce mémoire n'aurait jamais vu le jour.

Je tiens à remercier mes parents, mes frères et soeurs qui m'ont toujours encouragée.

J'exprime ma gratitude à Pr. H. HAFFAF président de jury pour avoir accepté de juger ce travail, ainsi que Dr. M. BOURENANE l'examinatrice de ce travail.

Enfin, j'adresse mes plus sincères remerciements à tous mes proches et amis, qui m'ont toujours soutenu et encouragée au cours de la réalisation de ce mémoire.

Merci à tous et à toutes.

Résumé

Notre projet consiste à concevoir et réaliser une application pratique pour la mesure de la qualité de l'air en utilisant les réseaux de capteurs sans fil (RCSF). Deux scénarios ont été considérés : i) mesure de grandeurs comme le CO2, CO, température et l'humidité en mode indoor (dans une maison par exemple pour aider des personnes âgées ou handicapés). ii) mesurer la qualité de l'air en mode outdoor avec prise en compte de la localisation grâce au capteur GPS (dans certains endroits d'une ville par exemple). Pour l'expérimentation, nous avons utilisé la gamme waspmote pro du constructeur libelium et plus précisément le WaspMote Gas Sensor Kit pour mesurer « la température, l'Humidité, dioxyde de carbone et monoxyde de carbone ». Toutes les données collectées sont stockées dans une base de données MySQL et visualisées par la suite à l'utilisateur finale.

Mots clés : *RCSF, CO, CO2, MySQL, Java, WaspMote*

Abstract :

Our project consists of designing and implementing a practical application for air quality measurement using Wireless Sensor Networks (WSN). Two scenarios were considered : i) measurement of parameters such as CO₂, CO, temperature and humidity in indoor mode (for example in a house to help elderly or disabled people). ii) Measurement of the air quality (AQI) in the outdoor mode, taking into account the location using the GPS sensor (in certain places in a city for example). For the experiment, we used the waspmote pro platform from the manufacturer libelium and more precisely the WaspMote Gas Sensor Kit to measure "temperature, humidity, carbon dioxide and carbon monoxide". All collected data is stored in a MySQL database and subsequently viewed by the end user.

Key words : *WSN, CO, CO₂, MySQL, Java, WaspMote.*

Table des matières

Liste des figures	vii
Liste des tableaux	ix
1 Réseau de capteurs sans fils et qualité de l'air	2
1.1 Introduction	2
1.2 Réseau de capteurs sans fil (RCSF)	3
1.2.1 Le nœud capteur	3
1.2.2 Modèles d'un nœud capteur	4
1.2.3 Réseau de capteurs sans fil (RCSF)	5
1.2.4 Topologie du réseau du capteur	6
1.2.5 Types d'architecture Des réseaux de capteurs sans-fil	7
1.2.6 Architecture protocolaire	7
1.2.7 Caractéristiques d'un RCSF	11
1.2.8 Défis pour les réseaux de capteurs sans fil environnementaux	12
1.2.9 Types et défis de RCSF	14
1.2.10 Standard et technologies des RCSFs	15
1.2.11 Application des RCSF	18
1.3 le monitoring de la qualité de l'air	20
1.3.1 Les classes de monitoring de l'environnement	20
1.3.2 Paramètres de la qualité de l'air	21
1.3.3 Pollution de l'air	22
1.3.4 Capteurs de qualité de l'air intérieur et confort humain	23
1.3.5 L'Indice de la Qualité de l'Air IQA (Air Quality Index : AQI)	23
1.3.6 Le programme de New York pour suivre la qualité de l'air	27
1.3.7 Station de surveillance de la qualité de l'air dans la rue Northinch	28
1.3.8 SEPA (signifie Single Euro Payments Area)	29
1.4 Conclusions	30
2 Conception	31
2.1 Introduction	31
2.2 Objectif du projet	31
2.3 Description de l'application	31
2.4 Identification des acteurs	32
2.5 Les scénarios d'application	33
2.5.1 Scénario 01	33
2.5.2 Scénario 02	34

Table des matières

2.5.3	Scénario 03	34
2.6	Description des algorithmes	38
2.6.1	L'organigramme de l'algorithme du nœuds capteur source	38
2.6.2	L'organigramme de l'algorithme du nœuds de capteur relai	39
2.7	Conclusion	39
3	Implémentation et Réalisation	41
3.1	Introduction	41
3.2	Implémentation	41
3.2.1	Environnements d'implémentation	41
3.3	Expérimentation	44
3.3.1	Plateformes	44
3.3.2	Hardware	44
3.3.3	Configuration et programmation des capteurs	50
3.3.4	Visualisation des données	53
3.3.5	Le Stockage des données dans une base de données	54
3.3.6	La visualisation des données	57
3.3.7	L'Indice de la Qualité de l'Air (IQA)	63
3.4	Conclusion	64
Bibliographie		66

Liste des figures

1.1	Modèle d'un nœud capteur.[1]	3
1.2	Caractéristiques de modèles de nœuds capteurs.[5]	5
1.3	Architecture d'un réseau de capteurs sans-fil.[1]	6
1.4	Architecture protocolaire RCSF.	8
1.5	Types et défis de RCSF [21].	14
1.6	Comparaison des technologies radio émergentes et existantes pour les RCSFs. [6].	16
1.7	Comparaison technique entre les normes RCSF clés IEEE 802.15.4. [6]. . .	17
1.8	Comparaison entre le Zigbee, Bluetooth et wifi.[19].	17
1.9	Aperçu des applications des réseaux de capteurs. [6]	20
1.10	Pollution de l'air.	23
1.11	Les catégories d'IQA.	24
1.12	Groupes sensibles aux polluants spécifiques.	24
1.13	Points d'arrêt pour l'AQI.	26
1.14	Station de surveillance de la qualité de l'air dans la rue Northinch à l'écosse (Scotland).	29
2.1	Structure générale de notre application et ses principales étapes de fonctionnement	32
2.2	Le diagramme de séquence du premier scénario	34
2.3	Le diagramme de séquence du deuxième scénario	34
2.4	Le diagramme de séquence qui correspond à la première partie du troisième scénario	35
2.5	Le diagramme de séquence correspond à la deuxième partie du troisième scénario	36
2.6	Le diagramme de séquence de la partie qui permet de visualiser les données	37
2.7	Schéma illustratif de notre application	37
2.8	L'organigramme de l'algorithme du nœuds source	38
2.9	L'organigramme de l'algorithme du nœuds relai	39
3.1	Aperçu de l'IDE WaspMote Pro.	42
3.2	Aperçu sur l'IDE NetBeans version 8.1	43
3.3	Page d'accueil du serveur WampServer.	43
3.4	Composants principale de la carte WaspMote Pro V1.2	45
3.5	Illustration du capteur GPS.	45
3.6	WaspMote Sensors Gas.	46
3.7	Capteur d'humidité 808H5V5.	47

Liste des figures

3.8	Photo du capteur de température MCP9700A	47
3.9	Photo du Capteur de CO -TGS2442.	48
3.10	Photo du Capteur de CO2 -TGS4161.	48
3.11	waspmote Gatetay.	49
3.12	Photo de la carte XBee PRO S1.	49
3.13	Le schéma général de la circulation des données.	50
3.14	Étape 10 de la configuration de L'XBEE.	51
3.15	Le programme du nœud capteur source.	52
3.16	Le programme d'un nœud relai.	53
3.17	L'affichage des données capturées par le nœud source.	53
3.18	L'affichage des données reçus par la Gateway.	54
3.19	La structure de la table de la base de données.	55
3.20	Programme qui permet de stocker les données reçus dans la BDD.	56
3.21	Les données ajoutées dans la base de données.	57
3.22	L'interface principale de l'application.	57
3.23	L'interface qui permet d'afficher tous les d'une mesure dans la BDD.	58
3.24	La partir du code java qui permet de tracer la courbe de température.	58
3.25	L'humidité relative par rapport au temps.	59
3.26	La concentration de CO2 par rapport au temps.	59
3.27	La concentration de CO par rapport au temps.	60
3.28	La température par rapport au temps.	60
3.29	Le choix de la mesure dans le deuxième cas	61
3.30	Le choix d'une période dans le deuxième cas	61
3.31	Le choix d'une période dans le deuxième cas	61
3.32	La troisième interface secondaire	62
3.33	La concentration de CO2 par rapport au temps en temps réel	62
3.34	L'état de la figure précédente après un ajout des données dans la BDD	63
3.35	Illustration de l'IQA	64

Liste des tableaux

2.1	Le rôle des acteurs de l'application	33
3.1	Caractéristiques du pc de travail.	44
3.2	Caractéristique du Wspmote Pro V1.2	45
3.3	Les caractéristiques du capteur d'humidité 808H5V5	46
3.4	Les caractéristiques du capteur de température MCP9700A	47
3.5	Les caractéristiques du Capteur de CO -TGS2442	48
3.6	Les caractéristiques du Capteur de CO ₂ -TGS4161	48

Introduction générale

Un réseau de capteurs sans fils (RCSF) est un réseau sans fils de petits capteurs à faible coût qui permet de collecter et transmettre des données environnementales. Un RCSF a des applications dans divers domaines tels que la surveillance de l'environnement, la surveillance du climat intérieur, le diagnostic médical, la gestion des catastrophes etc. Notre projet consiste à réaliser un système de monitoring de la qualité de l'air à l'aide d'un réseau de capteurs sans fils (un prototype). L'objectif de ce système est de protéger les êtres humains et l'environnement contre toute pollution nocive de l'air et d'aider les décideurs et les citoyens à prendre des décisions en utilisant la technologie des réseaux de capteurs. Si par exemple on mesure la qualité de l'aire d'une zone donnée (Exemple la ville d'Oran) et on trouve que cette zone est très polluée (une concentration élevée de Co, Co2, .etc), alors on propose aux décideurs (représentant de l'état) de ne pas construire une usine dans cette zone par exemple et de planter par contre des plantes s'il est possible. Si la qualité de l'air dans cette zone est acceptable, alors il n'y aura pas de problème pour empêcher les décideurs de construire des usines dans cette zone. Ainsi, la finalité de ce projet améliore la prise de décision à l'échelle d'une ville par exemple. Nous avons fait des expérimentations réelles en utilisant le kit « WaspMote gas sensor kit » qui contient des capteurs de température, d'humidité, de monoxyde de carbone(CO) et de dioxyde carbone (CO2). Nous avons utilisé ces capteurs et le capteur GPS pour réaliser notre projet dont nous avons divisé en deux parties. Dans la première partie, nous avons utilisé que les capteurs du kit pour mesurer la température, l'humidité, le CO et le CO2 d'une salle par exemple, et dans la deuxième partie, nous avons utilisé le capteur GPS et le capteur de mesure de CO pour calculer l'indice de la qualité de l'air (AQI) d'une position, ces coordonnées sont définies par le capteur GPS. Ce mémoire est organisé en trois chapitres. Le premier chapitre est un état de l'art sur les réseaux de capteur sans fils et ses applications et plus particulièrement le monitoring de la qualité de l'air. Le deuxième chapitre est consacré à la partie conception de notre projet et le troisième chapitre présente les programmes, les expériences et les résultats obtenus.

CHAPITRE 1

Réseau de capteurs sans fils et qualité de l'air

1.1 Introduction

Un réseau de capteurs sans fil (RCSF) est un réseau sans fil composé de petits capteurs (appelés aussi nano-ordinateurs) à faible coût qui collectent et envoient des données environnementales. Un RCSF facilite le monitoring et le contrôle des environnements physiques à partir d'emplacements distants avec une bonne précision. Un RCSF a des applications dans divers domaines tels que le monitoring de l'environnement, le contrôle du climat intérieur, la surveillance, le monitoring structurel, le diagnostic médical, la gestion des catastrophes, la réponse d'urgence, le monitoring de l'air ambiant et la collecte des informations détectées dans des endroits inhospitaliers. Le monitoring de la qualité de l'air est devenu un enjeu important pour la qualité de vie. Récemment, avec la croissance rapide des activités industrielles, le problème de la pollution atmosphérique devient une préoccupation majeure de la population, et la santé des gens a été sérieusement affectée par la pollution de l'air. La forte concentration de monoxyde de carbone (CO) et de dioxyde de carbone (CO₂) dans l'air est très dangereuse pour la vie humaine. Lorsque le gaz CO est absorbé par les globules rouges, le corps manquera O₂. L'absorption de CO pendant une certaine période peut causer des dommages au système nerveux central et au système cardiovasculaire. Les symptômes comprennent des maux de tête, de la somnolence, de la léthargie, des étourdissements, des nausées et des évanouissements. Les concentrations élevées de CO peuvent provoquer une crise cardiaque, un coma, et des lésions de la fonction respiratoire. Contrairement au CO, le CO₂ n'a pas d'impact direct sur le corps humain car il n'est pas classé comme gaz毒ique.

La forte concentration de CO₂ dans l'air provoque trop d'air chaud piégé dans la terre, donc la température de la terre augmente et l'environnement devient plus chaud. Mais le RCSF facilite le monitoring et le contrôle des environnements physiques à partir d'emplacements distants avec une bonne précision et permet de réagir et prendre les décisions qui conviennent par la suite.

1.2 Réseau de capteurs sans fil (RCSF)

1.2.1 Le nœud capteur

C'est un mini-composant, qui permet d'acquérir des données sur son environnement [1], les traiter et les communiquer. Son intégration est une tâche difficile à réaliser en tenant compte de certaines contraintes : l'espace mémoire, la consommation énergétique,. . .etc. La Figure 1.1 représente l'architecture générale d'un nœud capteur.

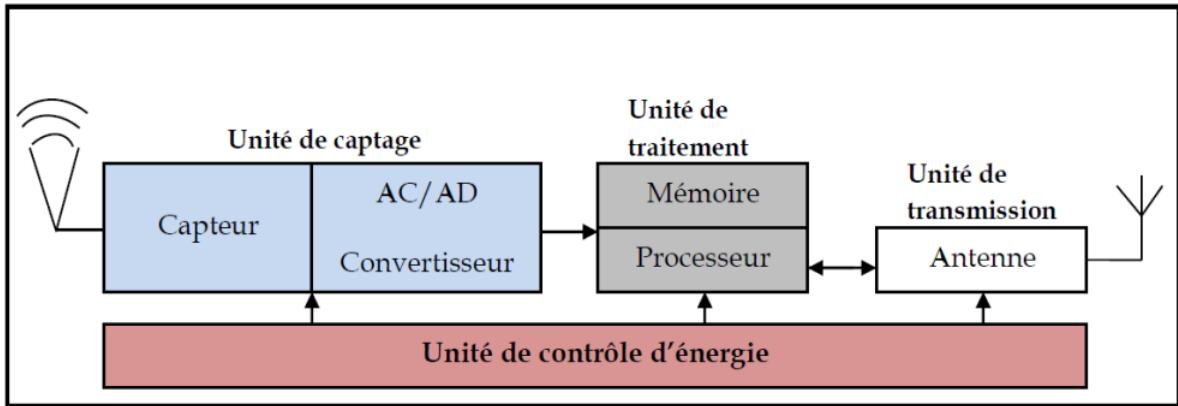


FIGURE 1.1 – Modèle d'un nœud capteur:[1]

1. **Unité de captage :** Elle est composée de deux sous-unités : une unité d'acquisition, qui permet de détecter les mesures désirées par un capteur, et d'une unité de traitement des signaux qui transforme les mesures analogiques détectées en signaux numériques par un convertisseur analogique numérique (AC/AD), comme l'indique la figure 1.1.
2. **Unité de traitement :** Elle est composée d'une mémoire (unité de stockage) et d'un processeur (unité de calcul) qui permet d'effectuer des calculs simples pour que ce

Chapitre 1. Réseau de capteurs sans fils et qualité de l'air

nœud puisse collaborer avec les autres nœuds du réseau. De plus, elle possède deux interfaces : la première liée avec l'unité de captage par laquelle, elle reçoit les mesures détectées. La deuxième liée avec l'unité de transmission par laquelle, elle communique les données qu'elle a traitées.

3. **Unité de transmission :** Elle est responsable de toutes les émissions et réceptions de données qui représentent l'état actif du nœud. Par ailleurs, le nœud peut se mettre en veille ou écouter seulement le trafic. L'unité de transmission est l'unité qui consomme le plus d'énergie par rapport aux précédentes unités.
4. **Unité de contrôle d'énergie :** L'énergie est la ressource la plus importante dans un réseau de capteurs, puisque elle influe directement sur la durée de vie des micro-capteurs et du réseau en entier. Elle est responsable de répartir l'énergie disponible aux autres modules et de réduire les dépenses en commutant les nœuds capteurs entre le mode active et le mode sommeil.

1.2.2 Modèles d'un nœud capteur

Les nœuds de réseau de capteurs sans fil sont des petits ordinateurs à carte unique à faible puissance pour une communication sans fil avec une radio pour collecter et transférer des données. Actuellement, les plates-formes commerciales disponibles seront présentées, Mica2 / Micaz de CrossBow Technology sont les technologies de la deuxième et de la troisième génération. TelosB / Tmote Sky sont développés par University of California, Berkeley et actuellement disponibles auprès de MEMSIC Inc. SHIMMER Intelligence Sensing Health, la réutilisabilité expérimentale, la modularité et la mobilité conçus pour la détection de la santé portables en relation mutuelle avec les environnements sans fil par Technologies en temps réel. IRIS est le nœud le plus moderne de Crossbow Technologies. Sun SPOT de Sun Microsystems est une petite technologie d'objet programmable. EZ430-RF2480 / F2500T de Texas Instruments, qui prend en charge les solutions de réseau sans fil. Wasp-motes de Libelium Communications est une plate-forme matérielle et logicielle open source.

Chapitre 1. Réseau de capteurs sans fils et qualité de l'air

Caractéristiques	MICA2/ MICAZ	TelosB/Tmotesk y	Sunspot	SHIMME R	IRIS	Ez430F 2500T	Waspmot es
Année	2002 /200 4	2005	2005	2006	2007	2007	2013
Fabricant	Crossbow	UC Berckley	Sun	Intel	Crossbo w	Texas Instrum ents	Libelium
Flash(Bytes)	128k	48k	4M	48k	640k	32k	128k
RAM(Bytes)	4k	10 k	512 k	10 k	8 k	1k	8k
EEPROM(Bytes)	512 k	1M	-	-	4 k	-	4k
SE/langage de Programmation /IDE	TOS, Mantis	TOS, Mantis, Coniki, CCS, IAR	J2ME, JDK, Squawk, VM	TOS	MoteRu nner, TOS, Motewo rk	TOS, CCS, IAR	C++, Waspmot es
Technique de modulation	O-QPSQ	O-QPSQ	O- QPSQ	O-QPSQ	O- QPSQ	OOK, 2- FSK, GFSK	PWM
Support de capteur	Températ ure, Humidité	Température, Humidité	Tempér ature, lumière	Accélérom ètre	lumière	Tempér ature, Humidit é	Accéléro mètre Températ ure,

FIGURE 1.2 – Caractéristiques de modèles de nœuds capteurs.[5]

1.2.3 Réseau de capteurs sans fil (RCSF)

Un Réseau de Capteurs Sans-Fil (RCSF) est un ensemble de capteurs variant de quelques dizaines d’éléments à plusieurs centaines, parfois plus, utilisant des liens sans-fil pour la communication. Chaque réseau de capteurs a la capacité de collecter des données à partir d’un champ de captage, qui définit la zone d’intérêt pour le phénomène capté. A l’aide d’une architecture multi-sauts, un RCSF transmet les données collectées à un nœud appelé PUIST où SINK (communication de type plusieurs à un) comme le montre la Figure 1.2. Ce dernier est considéré comme un point de collecte et peut transférer les données collectées via internet ou satellite à un ordinateur central gestionnaire de tâche pour leur traitement. De plus, des requêtes précisant le type de données requises et le *début/arrêt* de captage peuvent être envoyées par le biais du nœud Sink aux nœuds capteurs (communication de type un à plusieurs).

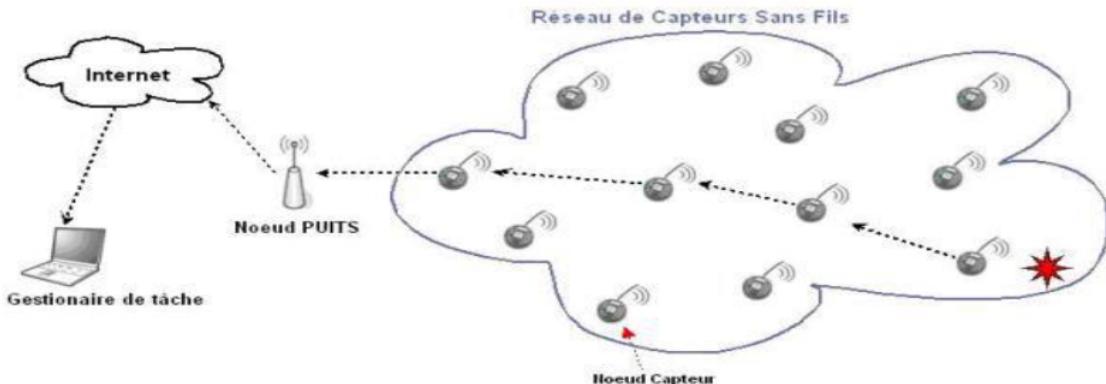


FIGURE 1.3 – Architecture d'un réseau de capteurs sans-fil.[1]

1.2.4 Topologie du réseau du capteur

Des centaines à plusieurs milliers de nœuds sont déployés dans tout le champ du capteur. Ils sont déployés à des dizaines de pieds l'un de l'autre. La densité des nœuds peut atteindre 20 nœuds / m³. Le déploiement d'un nombre élevé de nœuds nécessite une gestion minutieuse de la maintenance de la topologie. Nous examinons les problèmes liés à la maintenance et au changement de topologie en trois phases [1].

1. **Phase de pré-déploiement et de déploiement :** les nœuds des capteurs peuvent être jetés en masse ou placés une par une dans le champ du capteur. Ils peuvent être déployés en sortant d'un avion, livrés dans une coquille d'artillerie, une fusée ou un missile, et placés un par un par un humain ou un robot [1].
2. **Phase post-déploiement :** près le déploiement, les changements de topologie sont en raison de la modification de la position des nœuds des capteurs, de l'accessibilité (en cas de brouillage, du bruit, des obstacles de déplacement, etc.), de l'énergie disponible, des dysfonctionnements et des détails de la tâche [1].
3. **Redéploiement de la phase de nœuds supplémentaires :** les nœuds de capteurs supplémentaires peuvent être redéployés à tout moment pour remplacer les nœuds défectueux ou en raison de changements dans la dynamique des tâches [1].

1.2.5 Types d'architecture Des réseaux de capteurs sans-fil

Selon [2], il existe deux types d'architectures pour les réseaux de capteurs sans-fil :

1.2.5.1 Les réseaux de capteurs sans fil plats

Dans une topologie plate, tous les nœuds possèdent le même rôle. Les nœuds sont semblables en termes de ressources. Selon le service et le type de capteurs, une densité de capteurs élevée (plusieurs nœuds capteurs/m²) ainsi qu'une communication multi-sauts peut être nécessaire pour l'architecture plate. En présence d'un très grand nombre de nœuds capteurs, le passage à l'échelle devient critique. Le routage et le contrôle d'accès au médium (MAC) doivent gérer et organiser les nœuds d'une manière très efficace en termes d'énergie.

1.2.5.2 Les réseaux de capteurs sans-fil hiérarchiques

Afin d'augmenter la scalabilité du système, les topologies hiérarchiques ont été introduites en divisant les nœuds en plusieurs niveaux de responsabilité. L'une des méthodes les plus employées est le clustering, où le réseau est partitionné en groupes appelés *clusters*. Un cluster est constitué d'un chef (cluster-head) et de ses membres.

1.2.6 Architecture protocolaire

Il est à noter qu'aucune pile protocolaire destinée aux RCSF n'a été standardisée. Cependant, la majorité des articles scientifiques, qui traitent la thématique des RCSF, se basent sur la pile protocolaire qui a été proposée par Akyildiz et al., et qui sera traitée dans la suite du document [1]. Le rôle de ce modèle consiste à standardiser la communication entre les composants du réseau afin que différents constructeurs puissent mettre au point des produits (logiciels ou matériels) compatibles. Ce modèle comprend 5 couches qui ont les mêmes fonctions que celles du modèle OSI ainsi que 3 couches pour la gestion de la puissance d'énergie, la gestion de la mobilité ainsi que la gestion des tâches (interrogation du réseau de capteurs). Le but d'un système en couches est de séparer le problème en différentes parties (les couches) selon leur niveau d'abstraction. Chaque couche du modèle communique

avec une couche adjacente (celle du dessus ou celle du dessous). Chaque couche utilise ainsi les services des couches inférieures et en fournit à celle de niveau supérieur.

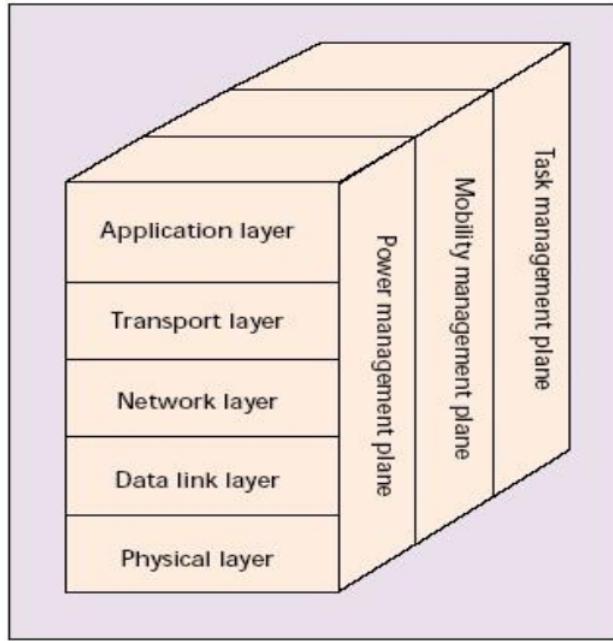


FIGURE 1.4 – Architecture protocolaire RCSF.

1.2.6.1 La couche physique

Elle est responsable de la sélection de fréquence, la génération de la fréquence porteuse, la détection du signal, la modulation/démodulation et le cryptage/décryptage des informations. La consommation d'énergie au niveau de la couche physique peut être affectée par l'environnement de l'application, le choix du type de la modulation ou la bande de fréquence utilisée. Il est avantageux en matière d'économie d'énergie que le concepteur de la couche physique choisisse une transmission à multi-sauts plutôt qu'une transmission directe qui nécessite une puissance de transmission très élevée [1].

1.2.6.2 La couche liaison de données

Elle est responsable de la détection des trames de données, le contrôle d'accès au support (MAC) et le contrôle d'erreurs. Elle maintient aussi la fiabilité des connections point à point ou multipoints dans les RCSF.

Chapitre 1. Réseau de capteurs sans fils et qualité de l'air

La couche liaison de données contient deux sous-couches qui sont :

1. La sous-couche MAC : Dans un réseau RCSF, la couche MAC doit accomplir deux principales tâches qui sont celles de :
 - établir des liaisons de communication entre les nœuds capteurs pour effectuer le transfert des données et permettre au réseau la capacité de s'auto-organiser.
 - décider du moment et de la manière dont les nœuds capteurs peuvent accéder au canal avec un minimum de perte d'énergie [1].
2. La sous-couche de contrôle d'erreurs : La technique de contrôle d'erreurs la plus utilisée dans les réseaux RCSF est le *Forwarderrorcorrection* (FEC) ; Cette technique comporte de simples mécanismes de codage et de décodage (codes de contrôle d'erreurs simples) [1].

1.2.6.3 La couche réseau

La couche réseau gère les échanges (et éventuellement les connexions) au travers du RCSF. Elle gère entre autre l'adressage et l'acheminement des données. Les applications des réseaux RCSF requièrent le plus souvent des protocoles de routage à multi-sauts entre le nœud émetteur, le ou les nœuds relais et le nœud **Sink**. Les protocoles de routage traditionnels des réseaux ad hoc ne peuvent pas être utilisés dans les réseaux RCSF puisqu'ils ne satisfont pas les critères de conservation d'énergie et de scalabilité. Les métriques considérées par les chercheurs pour déterminer la route la plus optimisée dans les réseaux RCSF sont :

L'énergie nécessaire pour transmettre le paquet d'une manière fiable.

L'énergie disponible dans chaque nœud capteur. [1]

1.2.6.4 La couche transport

Le rôle de cette couche intervient essentiellement lorsqu'on va accéder à partir de notre RCSF vers un autre RCSF ou vers Internet. Le protocole de transport utilisé entre le nœud

émetteur et le nœud **Sink** peut être UDP. Il importe de mentionner que l'utilisation du protocole TCP est impossible vu la taille limitée des mémoires des nœuds capteurs qui ne leur permet pas d'enregistrer de grandes quantités d'informations pour la gestion des communications (mécanismes de fenêtres). Les communications entre l'utilisateur et le nœud **Sink** peuvent être gérées par TCP ou UDP via Internet ou satellite.[1]

1.2.6.5 La couche application

Il existe plusieurs protocoles applicatifs qui ont été proposés. Parmi lesquels, on peut citer le SMP (Sensor Management Protocol) qui permet à l'utilisateur d'exécuter des tâches administratives telles que la configuration du RCSF, la mise en marche/fermeture des nœuds, la synchronisation entre les nœuds, le déplacement des nœuds capteurs. En plus du protocole SMP, on trouve SQDDP (Sensor Query and Data Dissemination Protocol) qui permet à l'utilisateur à travers des interfaces d'interroger le réseau en se basant non pas sur un système d'adressage particulier (interroger un nœud bien particulier) comme tel est le cas des réseaux sans fil classiques mais plutôt sur la localisation des nœuds. [1]

Exemple de requête : « quelles sont les localisations des nœuds qui captent des températures supérieures à 70° » . . .

1.2.6.6 Le plan de gestion d'énergie

Il gère la manière dont le nœud utilise son énergie. Par exemple, si le nœud capteur est faible en énergie, il pourra informer ses nœuds voisins par multicast qu'il ne pourra pas participer dans le routage des paquets.[1]

1.2.6.7 Le plan de gestion de la mobilité

Il détecte les mouvements des nœuds et indique leurs placements. De cette manière, chaque nœud peut connaître les nœuds qui lui sont voisins (il pourra alors balancer ses tâches vers un autre nœud au cas où il manque d'énergie). Il doit aussi maintenir à n'importe quel instant la route séparant le nœud mobile du nœud « Sink ». [1]

1.2.6.8 Le plan de gestion des taches

Il assure un ordonnancement des tâches de capture dans une région bien déterminée tout en évitant la redondance des tâches de capture à un même instant, et ceci dans le but d'économiser de l'énergie sur le réseau.[1] L'intérêt de ces trois plans réside dans le fait qu'ils assurent une gestion optimale de la consommation d'énergie, de la mobilité et des tâches au niveau de chaque nœud capteur.

1.2.7 Caractéristiques d'un RCSF

Les réseaux de capteurs sont comme les réseaux Ad hoc caractérisés par l'absence de l'infrastructure fixe, une topologie dynamique, des capacités matérielles limitées, des liens de communication non fiables, des risques de sécurité ...etc. A toutes ces contraintes héritées des réseaux Ad-hoc viennent s'ajouter d'autres contraintes spécifiques aux réseaux de capteurs [21] :

Limitations de ressources physiques : A cause de la miniaturisation des composants électroniques, les performances des nœuds capteurs (mémoire, CPU) sont limitées. Ils sont alimentés par des sources d'énergie non renouvelables.

Le nombre des nœuds capteurs : Pour capter ou surveiller un phénomène, les nœuds capteurs sont employés en grand nombre. Ceci est aussi encouragé par leur prix qui est de plus en plus bas.

Modèle de communication : Les nœuds dans les RCSFs communiquent selon un paradigme plusieurs-à-un (many to one). En effet, les nœuds capteurs collectent des informations à partir de leur environnement et les envoient toutes vers un seul nœud qui représente le centre de traitement.

Le déploiement aléatoire : Afin de surveiller un phénomène, les nœuds capteurs sont distribués d'une façon très aléatoire dans la zone d'observation.

Le changement rapide de topologie : La topologie d'un réseau de capteurs peut changer fréquemment notamment dans le cas où le déplacement des nœuds est influencé par les conditions de l'environnement (par exemple le vent).

Chapitre 1. Réseau de capteurs sans fils et qualité de l'air

La durée de vie : constitue un facteur important dans l'utilisation des réseaux de capteurs.

La maximisation de ce facteur est équivalente à celle du processus de surveillance que le réseau est censé mettre en ouvre. Cela fait de sa maximisation un objectif de priorité.

Absence d'adressage fixe des nœuds : Les nœuds dans les réseaux sans fil classiques sont identifiés par des adresses IP. Cependant, cette notion n'existe pas dans les RCSFs. Ces derniers utilisent un adressage basé sur l'attribut du phénomène capté, on parle donc de l'adressage basé-attribut.

Sécurité : En plus des problèmes de sécurité rencontrés dans les réseaux Ad Hoc en général, les RCSF rencontrent d'autres handicaps dus à leurs challenges ; à savoir l'autonomie et la miniaturisation des capteurs. Cela engendre l'inapplicabilité des mécanismes de défense utilisés dans les réseaux Ad Hoc tout en créant d'autres mécanismes de sécurité pour les RCSF. De plus, l'absence d'une sécurité physique dans l'environnement hostile où ils sont déployés expose les nœuds à un danger qui tend vers la falsification de l'information. En effet, les nœuds capteurs eux-mêmes sont des points de vulnérabilité du réseau car ils peuvent être modifiés, remplacés ou supprimés.

1.2.8 Défis pour les réseaux de capteurs sans fil environnementaux

Bien que des efforts considérables aient été réalisés, il reste encore des défis qui doivent être abordé. La gestion de l'alimentation est essentielle pour un fonctionnement à long terme, en particulier lorsqu'il est nécessaire de surveiller les environnements distants et hostiles. En termes de scalabilité, un réseau de capteurs sans fil peut accueillir des milliers de nœuds. Les systèmes installés sur des sites isolés ne peuvent pas être visités régulièrement, de sorte qu'un protocole standard d'accès à distance est nécessaire pour fonctionner, gérer, reprogrammer et configurer le RCSF quel que soit le fabricant. Le RCSF doit devenir plus facile à installer, à maintenir et à comprendre. La capacité de stockage et la redondance peuvent être augmentées en ajoutant des nœuds au système. L'augmentation des nœuds de stockage et leur configuration pour capturer les zones de chevauchement des nœuds des capteurs garantissent qu'il y a plusieurs copies des données, ce qui provoque une redondance

Chapitre 1. Réseau de capteurs sans fils et qualité de l'air

dans le cas où certains des nœuds de stockage échouent. Réduire la taille est essentiel pour de nombreuses applications. La taille de la batterie et les exigences de puissance radio jouent un rôle important dans la réduction de la taille. Produire des plates-formes de capteurs moins chers, fiables et disponibles est également un grand défi.[7].

Chapitre 1. Réseau de capteurs sans fils et qualité de l'air

1.2.9 Types et défis de RCSF

Types	Définitions	Défis	Applications
RCSF terrestre	Un réseau se compose de centaines et de milliers de nœuds capteurs déployés sur un terrain	<ul style="list-style-type: none"> - Agrégation de données dans le réseau pour améliorer les performances dans la communication, le coût de l'énergie et le délai - Minimiser le coût de l'énergie - Réduire la quantité de communication de données - Trouver le chemin optimal - Distribution de la consommation d'énergie - Maintenir la connectivité réseau - <u>Éliminer la redondance</u> 	<ul style="list-style-type: none"> - Détection et monitoring de l'environnement - Monitoring industrielle - Explorations de surface
RCSF Souterrain	Un réseau se compose de nœuds de capteurs sans fil déployés dans des grottes ou des mines ou sous terre	<ul style="list-style-type: none"> - Maintenance coûteuse de déploiement et coût de l'équipement - Menaces pour les appareils tels que l'environnement et les animaux - La capacité de la batterie ne peut pas être remplacée facilement - Des défis de topologie avec un déploiement pré-planifié - Des niveaux élevés d'atténuation et de perte de signal dans la communication 	<ul style="list-style-type: none"> - Monitoring de l'agriculture - Gestion du paysage - Monitoring structurelle souterraine - Monitoring de l'environnement souterrain du sol, de l'eau ou du minéral - Monitoring des frontières militaires
RCSF Sous-marin	Un réseau se compose de capteurs sans fil et de véhicules déployés dans l'environnement océanique	<ul style="list-style-type: none"> - Capteurs sous-marins coûteux - Défaillance matérielle due à des effets environnementaux (par exemple, corrosion) - La capacité de la batterie ne peut pas être remplacée facilement - Déploiement dépressif - Bande passante limitée - Problème de délai de propagation long, latence élevée. 	<ul style="list-style-type: none"> - Monitoring de la pollution - Monitoring sous-marine et exploration - Monitoring de la prévention des catastrophes - Monitoring sismique - Monitoring de l'équipement - Robotique sous-marine
RCSF Multimédia	Un réseau se compose de dispositifs de capteurs sans fil qui ont la capacité de stocker, de traiter et de récupérer des données multimédia telles que la vidéo, l'audio et les images	<ul style="list-style-type: none"> - Traitement, filtrage et compression du contenu multimédia dans le réseau - Consommation d'énergie élevée et demande de bande passante - Déploiement basé sur la couverture des équipements multimédia - Architecture flexible pour supporter différentes applications - Doit intégrer diverses technologies sans fil - L'approvisionnement de la QoS est très difficile en raison de la capacité de la liaison, et de délais - Conception transversale efficace 	Amélioration des applications RCSF existantes telles que poursuite et monitoring
RCSF Mobile	Un réseau se compose de nœuds capteurs et un ou plusieurs Sinks mobiles qui ont la capacité de se déplacer	<ul style="list-style-type: none"> - Naviguer et contrôler les nœuds mobiles - Doit s'auto-organiser - Localisation avec mobilité - Minimiser le coût de l'énergie - Maintenir la connectivité réseau - Traitement des données dans le réseau - Distribution de données - Gestion de la mobilité - Minimiser l'utilisation de l'énergie dans la locomotion - Maintenir une couverture de détection adéquate 	<ul style="list-style-type: none"> - Monitoring de l'environnement - Monitoring de l'habitat - Monitoring militaire - Poursuite de cible - Monitoring sous-marine - Chercher et sauver

FIGURE 1.5 – Types et défis de RCSF [21].

1.2.10 Standard et technologies des RCSFs

Le processus de normalisation dans le domaine de RCSF a été très actif dans les dernières années. Par rapport à certaines normes de communication sans fil bien connues telles que IEEE 802.11 et IEEE 802.15, la norme IEEE 802.15.4 est spécifiquement conçue pour une faible énergie, un faible taux de données et un capteur sans fil à faible coût de communication. En comparaison, le Wi-Fi (IEEE 802.11) fournit un débit et une portée de données plus élevés, mais il consomme plus d'énergie, ce qui entraîne un inconvénient crucial pour les RCSFs. Bluetooth Low Energy (BLE) est considéré comme une technologie attrayante pour les applications de RCSF exigeant des débits de données plus élevés, mais à courte portée. La plupart des technologies de RCSF fonctionnent dans la bande ISM (Industrial, Scientific and Medical radio band /bande de radio industrielle, scientifique et médicale), qui étaient internationalement réservées à l'utilisation de champs électromagnétiques FR (fréquence radio) pour des objectifs industrielles, scientifiques et médicales autre que les communications. Le choix de la technologie à utiliser devrait être basé sur l'application cible car chaque application de RCSF a des exigences différentes sur le système de communication. Bien que certaines applications aient une latence très faible, d'autres nécessitent une connexion haute sécurité ou une longue durée de vie de la batterie. Le développement de nouvelles technologies poussent RCSF dans de nouveaux domaines d'application. Alors que les technologies ISA100 et WirelessHART rendent les RCSF une possibilité plus viable dans les environnements de fabrication traditionnels, les technologies telles que la technologie Bluetooth low energy, ZigBee green power, Wi-Fi direct et EnOcean entraîneront une croissance dans des domaines tels que les dispositifs médicaux, Les soins de santé, les automobiles, les bâtiments éconergétiques, les sports et l'agriculture. Dans cette section, nous décrivons les normes et technologies RCSF potentielles. En plus des technologies standards, certaines technologies commerciales non standard comme ANT sont également prises en considération. [6] Une étude comparative des technologies radio émergentes et existantes pour les RCSFs est fournie dans le tableau suivant. [6]

Chapitre 1. Réseau de capteurs sans fils et qualité de l'air

	<u>IEEE 802.15.4 (ZigBee)</u>	<u>UWB IEEE 802.15.4a</u>	<u>Blue tooth</u>	<u>BLE</u>	<u>Z-wave</u>	<u>ANT</u>	<u>Wave nis</u>	<u>Dash 7</u>	<u>En Ocean</u>
Fréquence (ISM)	868/915 MHz; 2.4 GHz	3.1–10.6 GHz	2.4 GHz	2.4 GHz	Moins de 1GHz	2.4 GHz	868, 915, 433 MHz	433 MHz	868; 315 MHz
Taux max de données	250 kbps	110 Mbps	3 Mbp s	1 Mbp s	40 kbps	1 Mbps	100 kbps	200 kbps	125 kbps
Portée	100 m	10 m	10–100 m	200 m	30 m		1–4 km	2 km	300 m
Vie de la batterie	Jours–Années	Multi-année		Mois – Années	Multi-année	Année	Multi-année	Mult i-année	Sans batterie
Topologie de réseau	Etoile, P2P, Maille e		P2P	P2P	maillé e	Etoile, arbre P2P, maillé e	P2P		
Consommation d'énergie	Faible	Faible	Faible	Extrêmement bas	Faible	Extrêmement bas	Extrêmement bas	faible	Extrêmement bas
Ouvert	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Non	Oui	Oui	Oui
IPv6	Oui			Oui	Oui		Oui		
Marché cible / Application	Dispositifs de mètre intelligent et grille intelligente	Surveillance en temps réel et suivi de l'emplacement (intérieur)	Consommateur électrique unique	Fitness santé Dispositif intelligent	Automatisation de la maison, Sécurité, consommateur électronique	Santé Fitness Moniteur de fréquence cardiaque, Capteurs de vitesse	M2M, métrologie intelligent, Télémétrie, Automatisation de la maison	Paient intelligemt, mobilières, métre intelligent, Chaîne d'approvisionnement	Bâtimen, Capteurs auto-alimentés par automatisation industrielle, Commutateurs

FIGURE 1.6 – Comparaison des technologies radio émergentes et existantes pour les RCSFs. [6].

1.2.10.1 Norme IEEE 802.15.4

IEEE 802.15.4 est une norme définie par le groupe de travail IEEE 802.15.4 pour les dispositifs de communication de données fonctionnant dans des réseaux personnels sans fil à faible débit (LR-WPAN). Il fournit des communications à faible coût, à courte portée, à faible énergie et à faible débit de données pour les réseaux de capteurs. Il cible les applications de capteurs sans fil, qui nécessitent une communication à courte portée pour maximiser la durée de vie de la batterie. La norme spécifie les deux couches les plus basses de la pile protocolaire ; La couche physique (PHY) et la couche de contrôle d'accès au medium

Chapitre 1. Réseau de capteurs sans fils et qualité de l'air

(MAC), basé sur le modèle OSI. Les couches supérieures et les sous-couches d'interopérabilité de la pile de protocolaire sont définies séparément par d'autres architectures telles que 6LoWPAN, ZigBee , ISA100.11a et Wireless HART. Le tableau 3 fournit une comparaison technique entre les normes RCSF clés IEEE 802.15.4. [6]

Standard	Topologie	Durée de vie de la batterie (jours)	Nœuds dans le réseau	Débit Max	Portée(m)
ZigBee	Maillée	100–1000+	255	250 kbps	10–100
6LoWPAN	Maillée	100–365+	65536	250 kbps	1–100
WirelessHART	Maillée	760+	200	250 kbps	1–100
ISA100.11a	Maillée, étoile	1000+		250 kbps	100

FIGURE 1.7 – Comparaison technique entre les normes RCSF clés IEEE 802.15.4. [6].

1.2.10.2 Comparaison entre le ZigBee, Bluetooth et WiFi

Technologies	Wi-Fi™	Bluetooth™	ZigBee™
Standard des couches basses	802.11b	802.15.1	802.15.4
Application principales	Web, Email, Vidéo	Sans-fil de proximité	Contrôle & Monitoring
Durée de vie de la batterie (jours)	0.5 - 5	1 – 7	100 - 1,000+
Taille du réseau (Nombre nœuds)	32	7	100 to 1000
Bande passante (K bits/s)	11,000+	720	20 - 250
Portée (mètres)	1 - 30+	1 - 10+	1 - 100+
Architecture réseau	Etoile	Etoile	Etoile et Maillée
Optimisé pour	Vitesse	Faible coût, commodité	Fiabilité, Basse Consommation, Faible coût, Evolutivité

FIGURE 1.8 – Comparaison entre le Zigbee, Bluetooth et wifi.[19].

ZigBee [38,39] définit les protocoles de communication de couche supérieure construits selon les normes IEEE 802.15.4 pour les LR-PAN ("Low-Rate Wireless Personal Area Network standard"). ZigBee est une technologie de communication sans fil simple, à faible coût et à faible puissance utilisée dans les applications embarquées. Les appareils ZigBee peuvent former des réseaux maillants connectant des centaines à des milliers de périphériques ensemble. Les appareils ZigBee utilisent très peu d'énergie et peuvent fonctionner sur une batterie pendant de nombreuses années. Il existe trois types de périphériques ZigBee : le coordinateur Zig-Bee, le routeur ZigBee et le périphérique ZigBee. Le coordinateur Zig-Bee lance la formation du réseau, stocke les informations et peut relier les réseaux. Les

Chapitre 1. Réseau de capteurs sans fils et qualité de l'air

routeurs ZigBee associent des groupes de périphériques et fournissent une communication multi-saut à travers les périphériques. Le périphérique ZigBee se compose des capteurs, des actionneurs et des contrôleurs qui collectent des données et ne communiquent qu'avec le routeur ou le coordinateur. La norme ZigBee était publiquement disponible en juin 2005. [21].

Caractéristiques de ZigBee Les objectifs visés par ZigBee peuvent être résumés dans les points suivants [8] :

- Usage sans restrictions géographiques
- Pénétration à travers les murs et plafonds
- Installation automatique/semi-automatique
- Possibilité de rajouter/retirer des dispositifs
- Coût avantageux
- Débit : 10kbps-115.2kbps
- Portée radio : 10-75m
- Jusqu'à 65k nœuds par réseau
- Jusqu'à 100 réseaux co-localisés
- Jusqu'à 2 ans de durée de vie de batterie standards Alkaline

1.2.11 Application des RCSF

Il existe 3 grandes classes de réseaux de capteurs [21] : réseau de surveillance et sécurité, les réseaux de poursuite et réseau de collection des données d'environnements.

1.2.11.1 Réseaux de surveillance et sécurité

Les réseaux de surveillance sont constitués de nœuds fixes qui contrôlent d'une façon continue la détection d'une anomalie dans le fonctionnement d'un nœud. La différence entre ce réseau et le premier réseau réside dans le fait que les nœuds ne sont pas en train de

collecter des données. Ici les nœuds transmettent seulement les rapports concernant une violation de la sécurité. Ce type de réseau exige un excellent temps de chemin d'un paquet pour propager les alarmes. Un exemple de tel réseau est la détection des incendies dans les forêts.

1.2.11.2 Réseaux de poursuite (Target Tracking)

Cet usage de réseau concerne généralement la poursuite d'un objet dans un lieu contrôlé par un réseau de capteurs. Ce type de réseau est caractérisé par une topologie mobile ce qui engendre une instabilité de la communication des nœuds. Ces réseaux sont généralement développés par l'armée comme le projet américain «SmartDust» dans la poursuite d'un tireur d'élite. [20].

1.2.11.3 Réseaux de collection des données d'environnement (Data Fusion)

Ces réseaux ont été conçus en général pour la collecte périodique des données environnementales puis leur transmission vers une station de base. Les nœuds du réseau peuvent avoir plusieurs fonctionnalités et différents types de capteurs. Ce type de réseau nécessite généralement un flux de données faible, une durée de vie importante et une topologie statique. Par contre, il ne présente pas de contraintes de types temps de chemin d'un paquet. Un exemple de tel réseau est un réseau dans lequel les nœuds mesurent la température, l'humidité et les radiations solaires au sein d'un champ agricole [22].

Chapitre 1. Réseau de capteurs sans fils et qualité de l'air

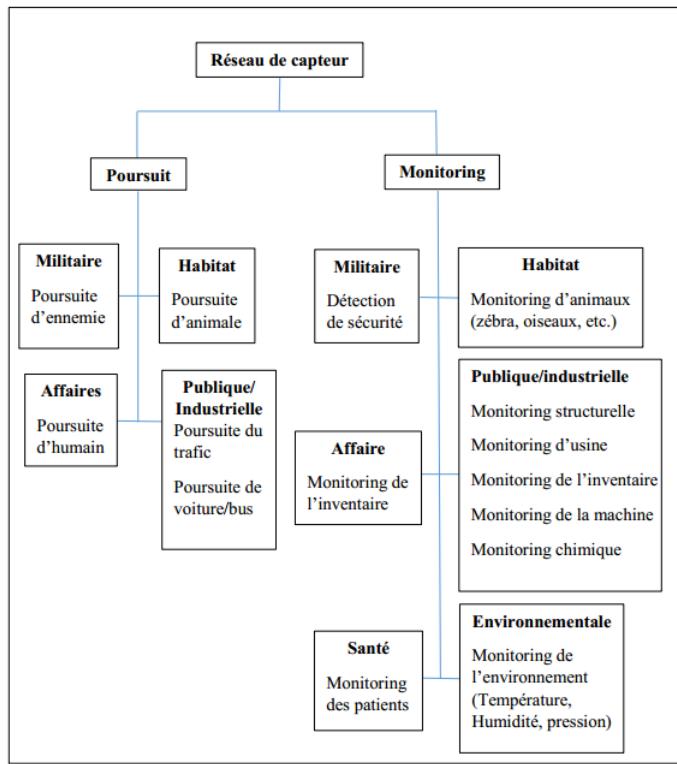


FIGURE 1.9 – Aperçu des applications des réseaux de capteurs. [6]

Et c'est que nous intéressons avec, c'est le monitoring intérieur ; la température, l'humidité, le monoxyde de carbone (CO) et le dioxyde de carbone (CO₂) et le monitoring extérieur ; à partir de la calcule de l'indice de la qualité de l'air dont on a besoin de SO₂, NO₂, PM2.5/PM10, O₃ et CO mais on se limite par le CO parce que nous avons les capteurs qui mesurent les autres gaz , et c'est ce qu'on va détailler par la suite.

1.3 le monitoring de la qualité de l'air

1.3.1 Les classes de monitoring de l'environnement

Les applications de monitoring de l'environnement peuvent être classées de manière générale dans le monitoring intérieur et extérieur (indoor and outdoor monitoring).

1.3.1.1 Monitoring intérieur (Indoor Monitoring) :

Les applications de monitoring intérieur incluent généralement le monitoring des bâtiments et des bureaux. Ces applications impliquent la détection de la température, de la lumière, de l'humidité et de la qualité de l'air. D'autres applications intérieures importantes peuvent inclure la détection des déformations des incendies et des structures civiles.

1.3.1.2 Monitoring Extérieur (Outdoor Monitoring) :

Les applications de monitoring à l'extérieur comprennent la détection chimique dangereuse, le monitoring de l'habitat, le monitoring de la circulation, la détection des séismes, l'éruption des volcans, la détection des inondations et la prévision météorologique. Les nœuds de capteurs ont également trouvé leur applicabilité dans l'agriculture.

1.3.2 Paramètres de la qualité de l'air

Les paramètres importants qui sont considérés dans le cadre proposé incluent : [3]

1.3.2.1 Gaz monoxyde de carbone

Le CO est inodore, incolore, insipide et très toxique. Il est relâché lorsque le carburant dans le moteur ne brûle pas correctement et que le trafic routier est la principale source de 91% de toutes les émissions de CO [1]. De plus, après avoir combiné l'hémoglobine du sang, elle forme la carboxyhémoglobine (HbCo), ce qui conduit à une réduction de la capacité de transport d'oxygène du sang, entraînant ainsi une hypoxie. La santé humaine est en grande partie en danger avec l'exposition à 100ppm ou plus [18]. L'exposition continue du CO même à des niveaux faibles peut provoquer une dépression, une confusion et une perte de mémoire. La carboxyhémoglobine peut être inversée à l'hémoglobine, mais le processus de récupération est lent en raison de la stabilité du complexe HbCo. Le traitement optimal pour l'intoxication au CO, bien qu'il reste controversé, mais la fourniture d'oxygénothérapie hyperbare est considérée comme un traitement, qu'il fournisse ou non les résultats nécessaires [11]. La demi-vie de CO diminue de 320 minutes à 80 minutes à l'air normal en gérant

l'oxygène via le masque non-ré-respiré [12].

1.3.2.2 Gaz dioxyde de carbone

Le CO₂ est incolore, gaz inodore et gaz non combustible. En outre, il est considéré sous la catégorie des gaz asphyxiés qui ont la capacité d'interférer la disponibilité d'oxygène pour les tissus [16]. Il est certifié que si l'oxygène n'est pas disponible pendant 3 à 5 minutes, cela peut causer des lésions cérébrales ou la mort. Plusieurs fois, le CO₂ généré par les occupants agit comme un substitut à la mesure de QAI. L'exigence de l'air extérieur peut être facilement prédite par la teneur en CO₂ et selon les directives de l'ASHRAE. Les niveaux de CO₂ doivent être inférieurs à 1000 ppm. Généralement, les niveaux de CO₂ de l'air extérieur sont inférieurs à 350 ppm.

1.3.2.3 Température

La mesure de la température est importante pour la sûreté des personnes et affecte nos compétences de vie. L'effet de serre peut être surveillé en mesurant la température et en comparant les changements de température de l'ancienne à l'actuelle, surtout depuis la révolution industrielle utilisant les données climatiques.

1.3.2.4 Humidité

L'humidité est un type de gaz qui nous protège contre les rayons UV du soleil et aide à piéger la chaleur sur Terre, ce qui rend le climat sur terre, agréable pour vivre. Mais à mesure que l'humidité augmente, la chaleur sur Terre augmente également, ce qui rend notre vie inconfortable. L'humidité est essentielle pour diverses installations de stockage et de transformation des aliments.

1.3.3 Pollution de l'air

La pollution de l'air est liée à la modification de la composition de l'air par des polluants nuisibles à la santé et à l'environnement. Ces polluants proviennent des activités humaines ou de la nature.



FIGURE 1.10 – Pollution de l'air.

1.3.4 Capteurs de qualité de l'air intérieur et confort humain

La qualité de l'air intérieur (Indoor Air Qualité) est mesurée avec des capteurs de CO₂, de température et d'humidité pour assurer des normes pour le confort humain à l'intérieur. Bien que le confort humain dépende d'une interaction de multiples variables, l'optimisation de la température et de l'humidité relative satisfait aux exigences de confort pour une plus grande variété d'occupants que d'optimiser uniquement la température. Le niveau de CO₂ est une mesure de substitution pour la qualité de l'air intérieur et la présence humaine. [17]

1.3.5 L'Indice de la Qualité de l'Air IQA (Air Quality Index : AQI)

L'indice de la qualité de l'air est un outil de l'information dont l'objectif est de faciliter la communication des résultats de la mesure des polluants de l'air.

1.3.5.1 Les polluants qui font partie du calcul de l'IQA

1. Le dioxyde de soufre(SO₂) : Provient de la combustion des combustibles fossiles contenant du soufre (fuel, gasoil, . . .). Irritant respiratoire.
2. Le dioxyde d'azote (NO₂) : Provient des installations de combustion (gaz naturel, . . .) et des véhicules automobiles. Peut engendrer des maladies respiratoires chroniques.

Chapitre 1. Réseau de capteurs sans fils et qualité de l'air

3. Le monoxyde de carbone (CO) : Résulte de combustion incomplète de combustibles fossiles (essence, fuel, charbon, bois). Gaz asphyxiant.
4. L'ozone (O₃) : Polluant secondaire provenant de transformation de certains polluants (NO₂ et hydrocarbures) sous l'action du soleil. Irritant, il altère les muqueuses ocu-laires et pulmonaires.
5. Les poussières fines en suspension (PS) : Poussières fines en suspension de diamètre inférieur à 10 μ m, émise par les activités naturelles ou humaines (moteur diesel, industrie, . . .). Susceptibles d'entrainer des maladies chroniques.

1.3.5.2 catégories de l'IQA

Il existe six catégories de l'IQA qui dépendent de la valeur de l'IQA.[11]

Valeurs de l'IQA	Descripteurs	Couleurs
0-50	Bien	Vert
51-100	Modérer	Jaune
101-150	Insalubre pour les groupes sensibles	Orange
151-200	Mauvais pour la santé	Rouge
201-300	Très malsain	Violet
301-500	dangereux	Bordeaux

FIGURE 1.11 – *Les catégories d'IQA.*

Remarque : Les valeurs supérieures à 500 sont considérées comme «Au-delà de l'AQI».

Suivez les recommandations pour la catégorie dangereuse.[11]

Lorsque ce polluant a un IQA supérieur à 100	Signaler ces groupes sensibles
Ozone O ₃	Les personnes atteintes de maladies pulmonaires, les enfants, les personnes âgées, les personnes actives à l'extérieur (y compris les travailleurs extérieurs), les personnes ayant certaines variantes génétiques et les personnes ayant des régimes alimentaires limités dans certains nutriments sont les groupes les plus à risque
PM2.5	Les personnes souffrant de maladies cardiaques ou pulmonaires, les personnes âgées, les enfants et les personnes ayant un statut socioéconomique inférieur sont les groupes les plus à risque
PM10	Les personnes souffrant de maladies cardiaques ou pulmonaires, les personnes âgées, les enfants et les personnes ayant un statut socioéconomique inférieur sont les groupes les plus à risque
CO	Les personnes souffrant de maladie cardiaque sont les groupes les plus à risque
NO ₂	Les personnes souffrant d'asthme, les enfants et les personnes âgées sont les groupes les plus à risque
SO ₂	Les personnes souffrant d'asthme, les enfants et les personnes âgées sont les groupes les plus à risque

FIGURE 1.12 – *Groupes sensibles aux polluants spécifiques.*

1.3.5.3 La méthode de la calcule d'IQA

Comment je calcule l'IQA à partir des données de concentration des polluants ? L'IQA est la valeur le plus élevé calculé pour chaque polluant comme suit [11] :

1. identifier la concentration la plus élevée parmi tous les moniteurs dans chaque zone de rapport et tronquez comme suit :

Ozone (ppm) - Tronquer à 3 décimales

PM2.5 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) - Tronquer à 1 décimale

PM10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) - Tronquer en entier

CO (ppm) - Tronquer à 1 décimale

SO2 (ppb) - Tronquer en entier

NO2 (ppb) - Tronquer en entier

2. À l'aide du tableau 8, trouvez les deux points d'arrêt qui contiennent la concentration.

3. En utilisant l'équation 1, calculez l'indice.

4. Faites approcher l'indice à l'entier le plus proche.

L'Equation 1 :

$$I_p = (((((I_s - I_i) / (PA_s - PA_i)) * (C_p - PA_i)) + I_b)$$

Tel que :

I_p : l'indice de polluant p

C_p : la concentration tronquée du polluant p

PA_i : le point d'arrêt de concentration qui est inférieur ou égale au C_p

I_p : la valeur d'IQA qui correspond au PA_s

I_i : la valeur d'IQA qui correspond au PA_i

Chapitre 1. Réseau de capteurs sans fils et qualité de l'air

Les points d'arrêts d'IQA

Points d'arrêts							IQA qui lui correspond	La Catégorie qui lui correspond
O_3 (ppm) 8-hour	O_3 (ppm) 1-hour ¹	$PM_{2.5}$ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) 24-hour	PM_{10} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) 24-hour	CO (ppm) 8-hour	SO_2 (ppb) 1-hour	NO_2 (ppb) 1-hour	IQA	Catégorie
0.000 - 0.054	-	0.0 - 12.0	0 - 54	0.0 - 4.4	0 - 35	0 - 53	0 - 50	Bien
0.055 - 0.070	-	12.1 - 35.4	55 - 154	4.5 - 9.4	36 - 75	54 - 100	51 - 100	Modérer
0.071 - 0.085	0.125 - 0.164	35.5 - 55.4	155 - 254	9.5 - 12.4	76 - 185	101 - 360	101 - 150	Insalubre pour les groupes sensibles
0.086 - 0.105	0.165 - 0.204	(55.5 - 150.4) ³	255 - 354	12.5 - 15.4	(186 - 304) ⁴	361 - 649	151 - 200	Mauvais pour la santé
0.106 - 0.200	0.205 - 0.404	150.5 - (250.4) ³	355 - 424	15.5 - 30.4	305 - 604 ⁴	650 - 1249	201 - 300	Très malsain
(²)	0.405 - 0.504	(250.5 - 350.4) ³	425 - 504	30.5 - 40.4	(605 - 804) ⁴	1250 - 1649	301 - 400	Dangereux
(²)	0.505 - 0.604	(350.5 - 500.4) ³	505 - 604	40.5 - 50.4	(805 - 1004) ⁴	1650 - 2049	401 - 500	Dangereux

FIGURE 1.13 – Points d'arrêt pour l'AQI.

Les puissances signifie :

- 1 :** Les zones sont généralement requises pour signaler l'IQA en fonction des valeurs d'ozone de 8 heures. Cependant, il existe un petit nombre de domaines où un IQA basé sur des valeurs d'ozone d'une heure serait plus préventif. Dans ces cas, en plus de calculer la valeur de l'indice d'ozone de 8 heures, on peut calculer la valeur d'ozone d'une heure et le maximum des deux valeurs c'est l'IQA d'ozone.[11]
- 2 :** Les valeurs O3 de 8 heures ne définissent pas de valeurs IQA plus élevées (≥ 301). Les valeurs IQA de 301 ou plus sont calculées avec 1 heure de concentrations d'O3.[11]
- 3 :** Si un SHL différent pour PM2.5 est promulgué, ces nombres changeront en conséquence.
- 4 :** Les valeurs de SO2 d'une heure ne définissent pas de valeurs AQI plus élevées (≥ 200). Les valeurs AQI de 200 ou plus sont calculées avec des concentrations de SO2 de 24 heures.[11]

Comment utiliser l'équation 1 et le tableau pour calculer l'IQA ? Supposons que vous ayez une valeur de monoxyde de carbone de 8 heures de 8.36842333. Tout d'abord, tronquez

Chapitre 1. Réseau de capteurs sans fils et qualité de l'air

la valeur à 8.4. Ensuite, se référer au monoxyde de carbone de dans le tableau 6 pour les valeurs qui se situent au-dessus et en dessous de votre valeur (4.5-9.4). Dans ce cas, la valeur de 7,8 se situe dans les valeurs d'index de 51 à 100. Vous disposez maintenant de tous les nombres nécessaires pour utiliser l'équation.[11]

$$I_{CO} = (((100 - 51)/(9.4 - 4.5)) * (8.4 - 4.5)) + 51 = 90$$

Donc, une valeur de 8 heures de 8.36842333 correspond à une valeur d'index de 90.

Et si j'ai des valeurs plus de polluants ? Supposons que vous disposiez d'une valeur d'ozone de 8 heures de 0,078 ppm, d'une valeur de PM2,5 de 35,9 μ g / m³ et d'une valeur de CO de 8,4 ppm. Vous appliquez l'équation 3 fois : [11].

$$I_{O_3} = (((150 - 101)/(0.085 - 0.071)) * (0.078 - 0.071)) + 101 = 126$$

$$I_{PM2.5} = (((150 - 101)/(55.4 - 35.5)) * (35.9 - 35.5)) + 101 = 102$$

$$I_{CO} = (((100 - 51)/(9.4 - 4.5)) * (8.4 - 4.5)) + 51 = 90$$

L'IQA est 126, et le polluant responsable c'est l'ozone.

Comment puis-je utiliser à la fois des valeurs d'ozone à 1 heure et à 8 heures ? Vous devez calculer les valeurs de 8 heures, et vous pouvez également calculer les valeurs de 1 heure. Si vous calculez les deux, vous devez prendre la valeur IQA plus élevée. Supposons que vous aviez une valeur de 1 heure de 0,162 ppm et une valeur de 8 heures de 0,078 ppm. Ensuite, vous appliquez l'équation deux fois [11] :

$$1 - HI_{O_3} = (((150 - 101)/(0.085 - 0.071)) * (0.162 - 0.071)) + 101 = 148$$

$$8 - HI_{O_3} = (((150 - 101)/(0.085 - 0.071)) * (0.078 - 0.071)) + 101 = 126$$

Dans ce cas, l'indice est 148 (le maximum de 148 et 126) et le polluant responsable est l'ozone.

1.3.6 Le programme de New York pour suivre la qualité de l'air

Pour protéger les humains et l'environnement contre les dommages causés par la pollution atmosphérique, DEC (The New York State Depertement of Envorironmental Conservation /

Chapitre 1. Réseau de capteurs sans fils et qualité de l'air

Le ministère d'état de New York de la Conservation de l'Environnement) mesure continuellement les niveaux de polluants dans l'air. DEC rapporte régulièrement les résultats de ces mesures - dans le cas de l'ozone qui, à des niveaux élevés, peut constituer une menace pour la santé humaine, les résultats et les niveaux de pollution prévus sont signalés en temps réel, sur le site Web de DEC et par les médias de radiodiffusion. DEC mesure les polluants atmosphériques dans plus de 50 sites à travers l'état, en utilisant une instrumentation continue et / ou manuelle. Ces sites font partie du réseau national des stations de surveillance aérienne sous mandat fédéral et du réseau des stations de surveillance de l'air local et local. Les mesures de lecture directe en temps réel incluent les polluants des critères gazeux (ozone, dioxyde de soufre, oxydes d'azote, monoxyde de carbone), PM2.5 (particules fines avec un diamètre inférieur à 2,5 microns) et des données météorologiques. Les échantillons de dépôt par PM2.5, de plomb et d'acide à base de filtre sont collectés manuellement et expédiés au laboratoire pour analyse. La surveillance de l'air pour les polluants est une tâche technique complexe, nécessitant non seulement une mesure directe, mais aussi des normes de mesure et une assurance de la qualité pour s'assurer que l'information fournit une bonne compréhension de la qualité de l'air dans l'État de New York. Les rapports sur la qualité de l'air ambiant fournissent les données et les interprétations à la communauté technique et au public.[14]

1.3.7 Station de surveillance de la qualité de l'air dans la rue Northinch

Le conseil municipal de Glasgow a récemment installé une station de surveillance de la qualité de l'air dans la rue Northinch à Whiteinch. Cela fait suite à la pression de la communauté locale dans le cadre de la campagne contre la proposition de WH Malcolm pour une usine de gazéification sur South Street. [16] Nous attendons une nouvelle mise à jour du Conseil en ce qui concerne ce qui est surveillé et, très important, quand et comment les données seront disponibles. Des stations similaires mesurent les particules particulières PM10 et PM2.5, le dioxyde d'azote (NO₂) et l'oxyde nitrique (NO). Remarque : PM10 et NO₂ sont connus pour être liés à des problèmes de santé graves, y compris les crises cardiaques, les accidents vasculaires cérébraux, les maladies respiratoires et la mort précoce

[18].



FIGURE 1.14 – Station de surveillance de la qualité de l'air dans la rue Northinch à l'écosse (Scotland).

1.3.8 SEPA (signifie Single Euro Payments Area)

Désigne l'espace unique de paiements en euro. C'est un projet qui vise à créer un marché européen intégré des paiements pour les organisations et les particuliers qui effectuent ou reçoivent des paiements en euros.[12]

1.3.8.1 Le rôle de SEPA dans la qualité de l'air à l'écosse

Quand il s'agit de la qualité de l'air en Ecosse, SEPA a plusieurs rôles. [19] En plus de réglementer et surveiller les émissions de certaines activités industrielles qui peuvent causer la pollution de l'air, il :[16]

- Fournir des conseils stratégiques et opérationnels au gouvernement, à l'industrie et au public sur la lutte contre la pollution et d'autres problèmes environnementaux ;
- Travailler avec des partenaires pour comprendre et améliorer la qualité de l'air ;
- Fournir des informations sur les émissions des industries réglementées par le biais de l'inventaire écossais des rejets de polluants (Scottish Pollutant Release Inventory (SPRI)) ;
- Travailler vers les objectifs et objectifs écossais et britanniques visant à lutter contre le changement climatique mondial et le transport transfrontalier de polluants ;

Exploiter le Service d'intervention d'urgence des risques aériens (AHERS) au nom du gouvernement écossais.

1.4 Conclusions

Certains des projets de surveillance environnementale les plus pertinents avec des déploiements réels ont été analysés et les conclusions utilisées pour identifier les défis qui doivent être abordés. Les réseaux de capteurs sans fil continuent d'apparaître comme une technologie qui transformera la façon dont nous mesurons, comprenons et gérons l'environnement naturel. Pour la première fois, les données de différents types et lieux peuvent être fusionnés et accessibles depuis n'importe où. Des progrès importants ont été réalisés au cours des dernières années afin de combler l'écart entre les développements théoriques et les déploiements réels, bien que les méthodologies et les solutions de conception disponibles soient encore relativement immatures. En conséquence, l'utilisation généralisée des RCSFs pour les propositions environnementales n'est pas encore une égale. Le travail futur dans la gestion de l'énergie RCSF devrait inclure des recherches plus poussées sur les plates-formes de nœud, l'équilibrage des distributions d'énergie inégales et des études comportementales à long terme des systèmes dans des déploiements réels. En outre, le problème de la disponibilité d'énergie inégalement répartie devrait être abordé.

CHAPITRE 2

Conception

2.1 Introduction

Dans ce chapitre, nous allons détailler la partie conception dans laquelle nous allons représenter conceptuellement l'essentiel de ce travail en utilisant le diagramme de séquence du formalisme UML. Ensuite nous allons donner les différents algorithmes implémentés au niveau des nœuds source et relai, et nous présenterons la structure de la base de données contenant les données collectées. Et nous terminerons ce chapitre avec une conclusion.

2.2 Objectif du projet

L'objectif de ce projet consiste à concevoir et développer une application de monitoring de la qualité de l'air en collectant des données de l'environnement (on se limite dans cette application à mesure la concentration de monoxyde de carbone(CO) et la position là où se trouve le capteur du CO car nous n'avons pas tous les capteurs pour calculer l'indice de la qualité de l'air IQA) et une application domotique dont en capture et collecte les données d'un maison par exemple ou d'une chambre hospitalier(les données capturer sont de Température, Humidité, CO et de CO2).

2.3 Description de l'application

Dans ce projet le fonctionnement des deux applications est presque le même sauf que la première application en extérieur et la deuxième se fonctionne en extérieur et en intérieur mais nous avons utilisé dans le mode intérieur dans le travail que nous avons fait, un nœuds

source a le rôle de collecter les données et les envoyer vers un nœuds relai qui est de son côté les reçoit et les transmettre vers le Gateway qui est relié au PC. Une application développée avec Java permettre de lire les données reçus via le port série et les insérer dans une base de données de type MYSQL et les utiliser ensuite pour les visualiser à travers des courbes. Les grandes étapes liées au fonctionnement de l'application sont présentées dans la figure suivante :

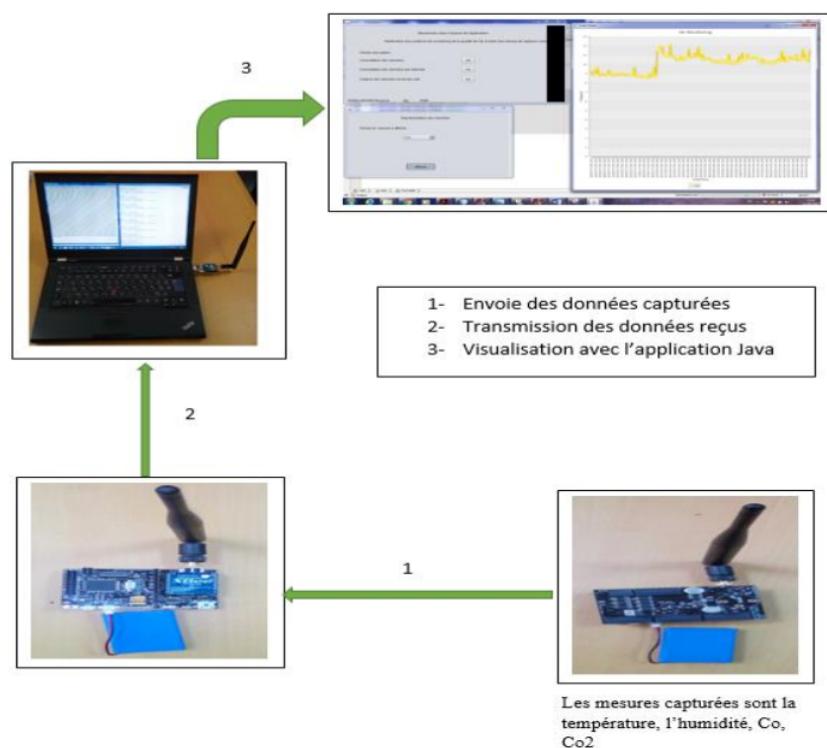


FIGURE 2.1 – Structure générale de notre application et ses principales étapes de fonctionnement

2.4 Identification des acteurs

En se basant sur l'étude des besoins, les acteurs sont toute personne ou entité pouvant interagir directement ou indirectement avec le système. Le tableau suivant montre ces acteurs et leurs rôles dans l'application.

Acteur	Rôle
nœuds source	Capturer les données et les envoyer vers le nœuds relai
nœuds relai	Il route les paquets vers le Gateway (réception et transmission des données)
Utilisateur	Manipuler l'application Java
Application Java	Son role consiste à lire, stocker les données en temps réel et s'occupe de leur visualisation
MySQL Server	Stockage des données

Tableau 2.1 – Le rôle des acteurs de l'application

2.5 Les scénarios d'application

Dans cette partie nous allons voir en détail l'ensemble des scenarios de l'application les sur lesquels ont été réalisés des développements logiciels et les expérimentations. Il s'agit donc d'une communication à 2-saut du nœuds source vers le nœuds relai et de ce dernier vers le Gateway, basé sur la gamme Wspmote de libelium et plus précisément le Gas Sensors Kit. Le nœuds source est composé d'un ensemble de capteurs (capteur de température, capteur d'humidité, capteur de monoxyde de carbone et le capteur de dioxyde de carbone). Nous avons utilisé la technologie ZigBee pour permettre la communication entre les nœudss de réseau (nœuds source et nœuds relai) et entre les nouds et le Gateway (le nœuds relai et le Gateway).

2.5.1 Scénario 01

Le scénario 01 consiste à utiliser seulement un nœuds capteur pour capturer les mesures dont lequel il est programmé est un pc pour la lecture des données capturer La figure 2.2 qui suite montre le diagramme de séquence correspondent à cet scénario.

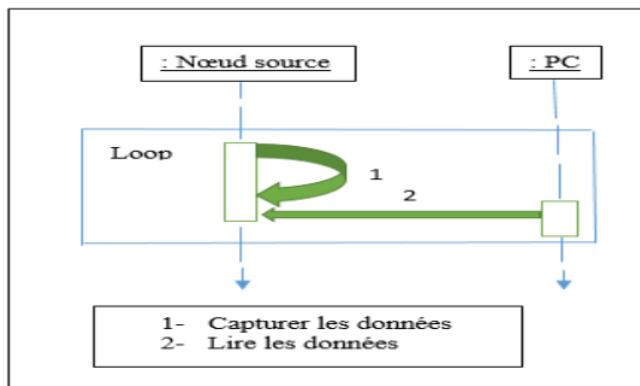


FIGURE 2.2 – Le diagramme de séquence du premier scénario

2.5.2 Scénario 02

Le scénario 02 consiste à ajouter un nœuds relai par rapport au premier scénario, la figure suivante présente le diagramme de séquence correspond.

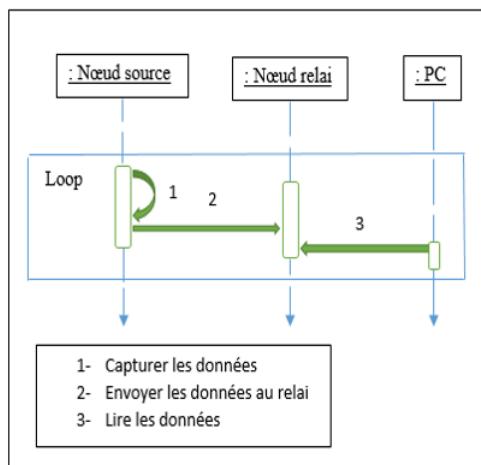


FIGURE 2.3 – Le diagramme de séquence du deuxième scénario

2.5.3 Scénario 03

Le scénario 3 est décomposé en trois parties, sera cités par la suite.

2.5.3.1 Capturer et collecter les données

Cette partie consiste à ajouter le Gateway par rapport au scénario précédent, il permet de capturer et collecter les données et de lire via le Gateway par le pc.

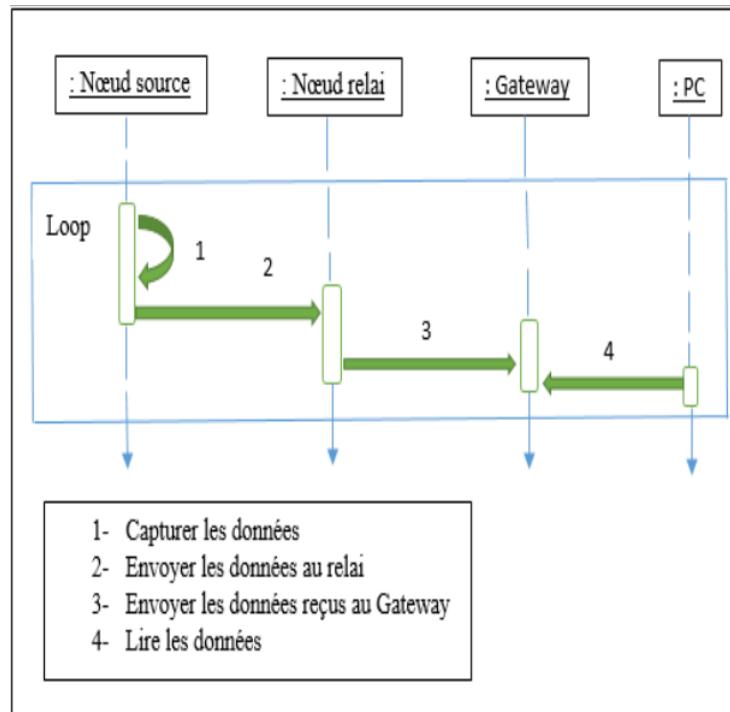


FIGURE 2.4 – Le diagramme de séquence qui correspond à la première partie du troisième scénario

2.5.3.2 Lecture et stockage des données ans une base de données

Cette partie permet le stockage des données capturer, la figure suivante présente le diagramme de séquence correspond.

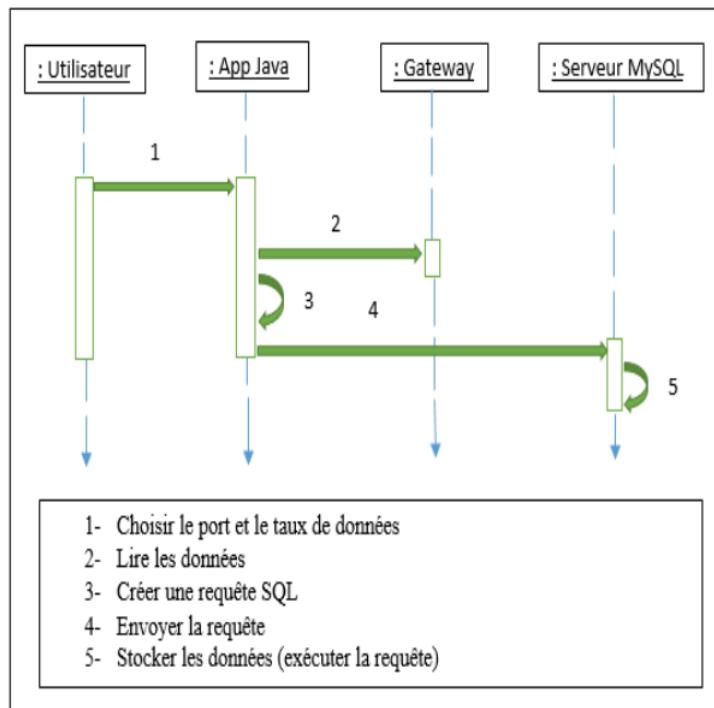


FIGURE 2.5 – Le diagramme de séquence correspond à la deuxième partie du troisième scénario

2.5.3.3 Visualisation des données

Cette partie permet de visualiser les données capturées sous formes des courbes, la figure suivante présente le diagramme de séquence correspond.

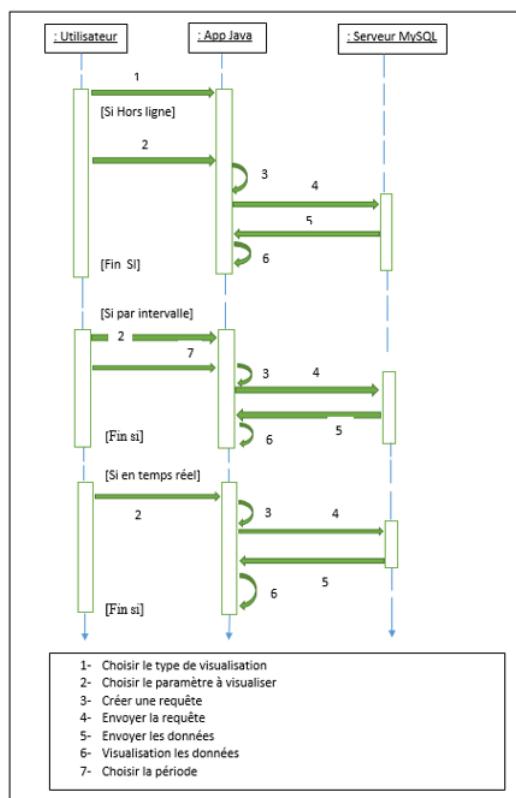


FIGURE 2.6 – Le diagramme de séquence de la partie qui permet de visualiser les données

La Figure suivante présente un schéma illustratif de notre application.

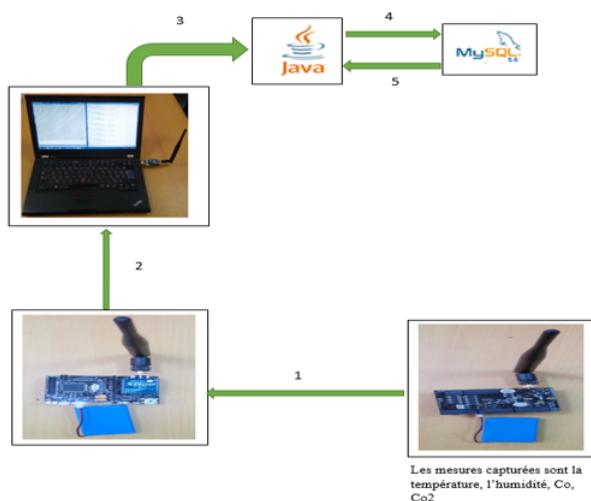


FIGURE 2.7 – Schéma illustratif de notre application

2.6 Description des algorithmes

Dans le cadre de notre application, nous avons développé des algorithmes au niveau des cartes waspmote pro des nœuds source et relai, les organigrammes 1 et 2 décrivent ces algorithmes :

2.6.1 L'organigramme de l'algorithme du nœuds capteur source

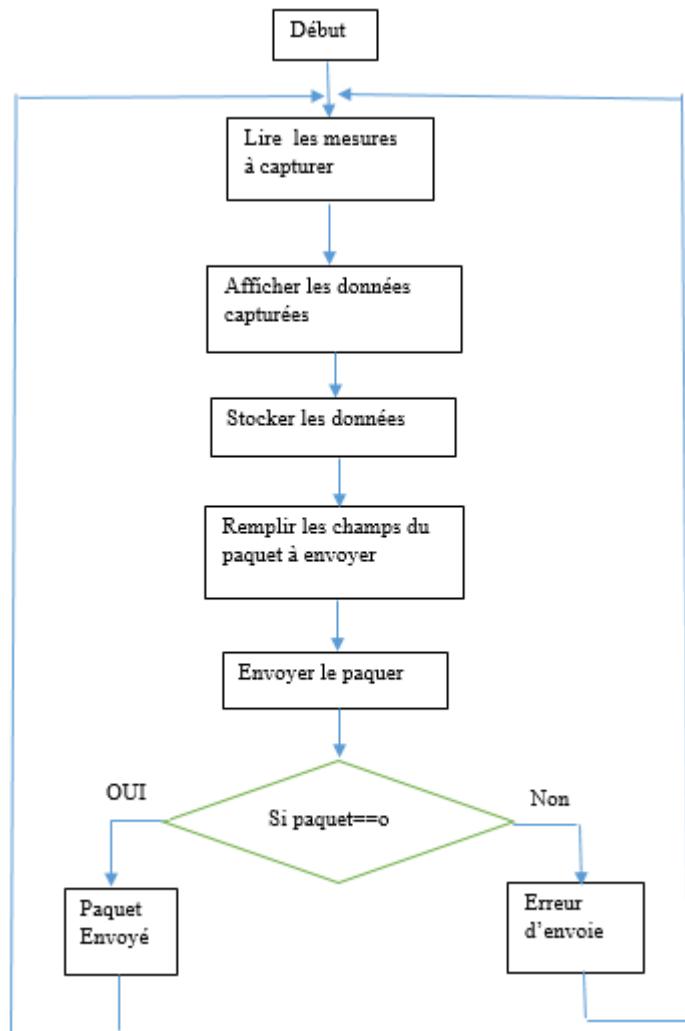


FIGURE 2.8 – L'organigramme de l'algorithme du nœuds source

2.6.2 L'organigramme de l'algorithme du nœuds de capteur relai

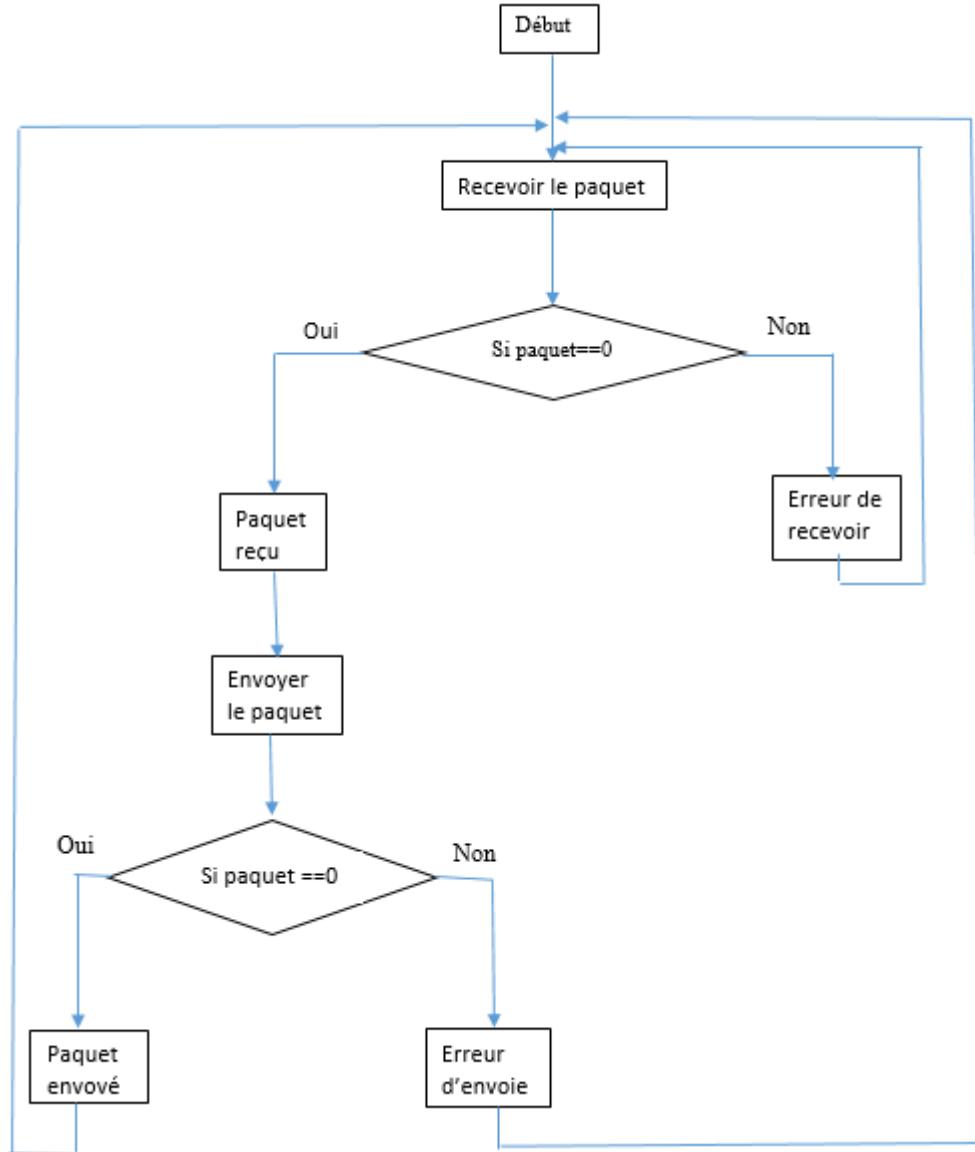


FIGURE 2.9 – L'organigramme de l'algorithme du nœuds relai

2.7 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons montré la conception générale de notre projet dans lequel nous avons décrit d'une manière générale notre application et ses scénarios, et présenté les

diagrammes de séquences des différents scénarios possible de notre application, et nous avons ainsi construire des organigrammes pour les algorithmes implémenté dans les cartes waspmote pro. Dans le chapitre suivant nous allons citer les outils matériels et logiciels, et décrire la manière de configurer du matériel, ainsi nous allons implémenter les algorithmes de capture, d'envoie et de réception des données, nous allons aussi montrer les parties essentielles du code de notre application java qui permet de stocker les données capturés dans une base de données et les visualiser, et montrer aussi l'interface graphique de notre application et ses résultats.

CHAPITRE 3

Implémentation et Réalisation

3.1 Introduction

Dans ce chapitre nous allons présenter les deux environnements de développement que nous avons utilisé pour effectuer notre travail : l'IDE Wasp mote et Netbeans. Le premier environnement (IDE Wasp mote) permet de programmer la carte waspmote pro v1.2 pour capturer les différentes grandeurs physiques (co, co2, température, humidité) qui entrent dans le calcul de l'indice de pollution (AQI) détaillé dans la partie [compléter], et le deuxième environnement permet d'implémenter l'application qui se charge de la représentation sous différent forme les données envoyées par les nœuds capteurs ; nous avons utilisé aussi d'autres outils pour la configuration et la représentation. Dans ce qui suit, nous présentons brièvement les deux environnements de développement, ainsi que les autres outils utilisées.

3.2 Implémentation

3.2.1 Environnements d'implémentation

Dans cette section, nous présentons les environnements que nous avons utilisés pour le développement de notre projet.

3.2.1.1 L'IDE Wasp mote Pro

L'IDE (Integrited Developpement environment) waspmote pro est un kit de développement logiciel utilisé pour l'écriture et le télé-versement (chargement dans le capteur) du code sur la carte waspmote. Il fournit également une interface pour l'affichage de la sortie

série pour la représentation local des données capturées, cet interface peut être utilisé aussi pour le débogage [13].

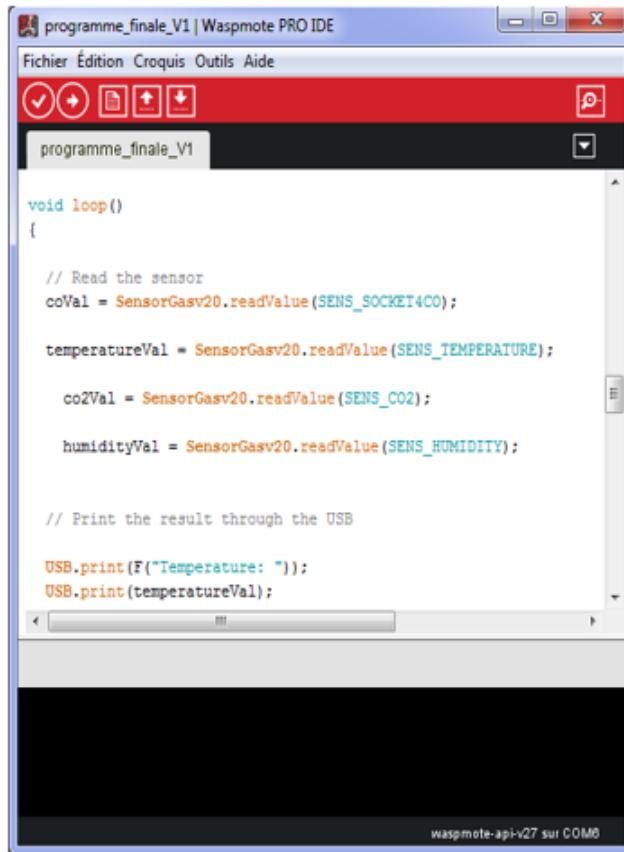


FIGURE 3.1 – Aperçu de l'IDE WaspMote Pro.

3.2.1.2 L'IDE NetBeans

Est un environnement de développement OpenSource permet aux programmeurs d'écrire, compiler, déboguer et de déployer des programmes avec plusieurs langages de programmation. Il est créé à l'initiative de Sun Microsystems, et présente toutes les caractéristiques indispensables à un EDI de qualité, que ce soit pour développer en Java, Ruby, C/C++ ou même en PHP. NetBeans permet de développer et de déployer rapidement et gratuitement des applications graphiques Swing, des Applets, des JSP/Servlets, des architectures J2EE, dans un environnement fortement personnalisable [9].

Chapitre 3. Implémentation et Réalisation

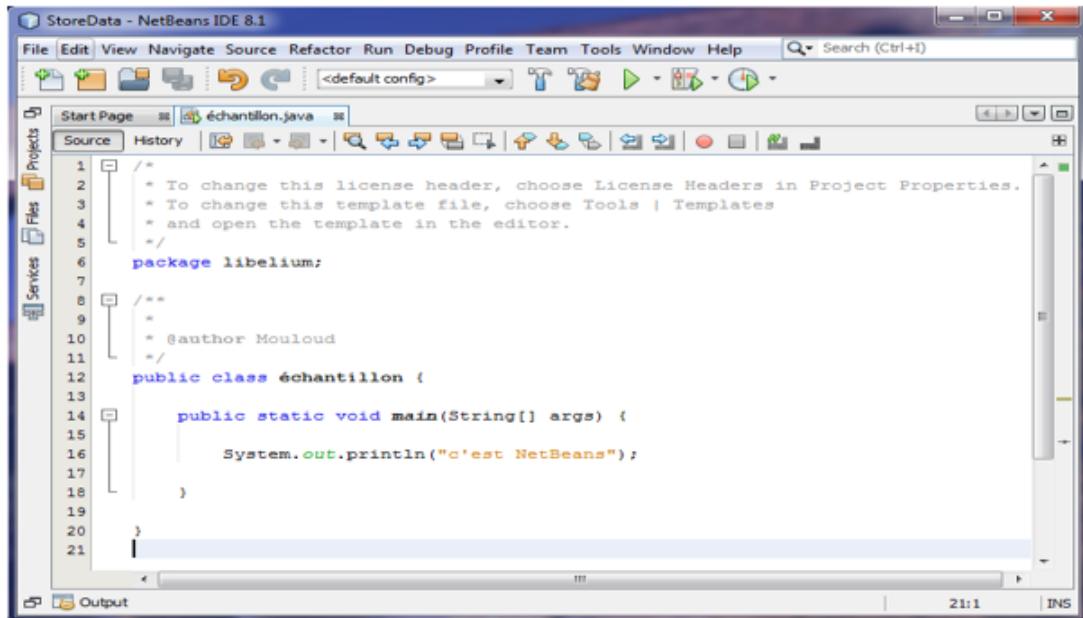


FIGURE 3.2 – Aperçu sur l'IDE NetBeans version 8.1

3.2.1.3 Plate-forme WampServer

WampServer (fig. 3.3) est une plate-forme de développement Web sous Windows pour des applications Web dynamiques à l'aide du serveur Apache2, du langage de script PHP et d'une base de données MYSQL. Il possède également PHP MyAdmin pour gérer plus facilement les bases de données.

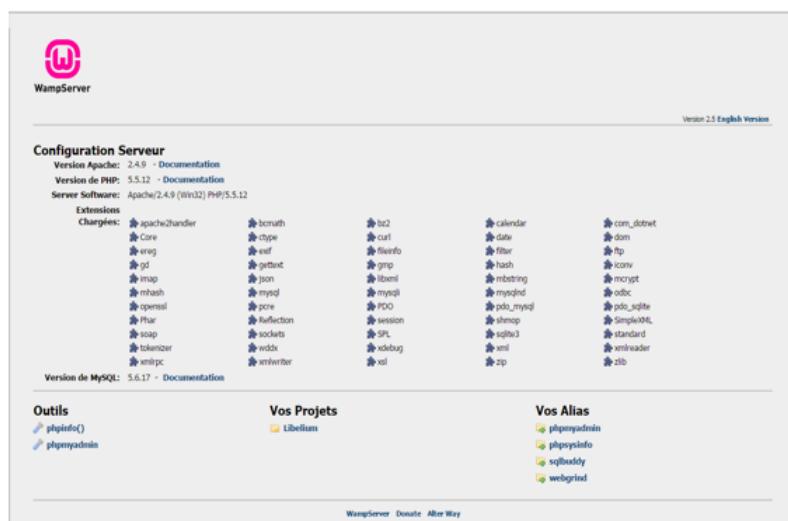


FIGURE 3.3 – Page d'accueil du serveur WampServer.

Tableau 3.1 – Caractéristiques du pc de travail.

Composants	Caractéristiques
Type	Lenovo T420
Mémoire installée (RAM)	4
Processeur	Intel(R) Core(TM) i5-2540M CPU @ 2.60GHz
Disque Dur	500 G
Système d'exploitation	Windows 7 Professionnel 64 bits

3.3 Expérimentation

Dans ce qui suit nous présentons les outils nécessaires (logiciels et matériels) pour les différentes expérimentations réalisés, et représenter par la suite les résultats obtenus.

3.3.1 Plateformes

L'environnement d'application et de traitement des résultats se déroule dans un laptop (ordinateur portable) de marque Lenovo, le tableau 3.1 résume ses caractéristiques :

3.3.2 Hardware

La deuxième partie matériel, (coté nœud capteur) se compose de plusieurs cartes et capteurs, on décrit dans cette section les caractéristiques essentielles de chaque composant.

3.3.2.1 La carte Wasp mote Pro V1.2

Wasp mote est carte programmable contient un ensemble de circuit électroniques tel que la ram, rom, microcontrôleur . . . basée sur une architecture modulaire, ces modules peuvent être modifiés et développés selon les besoins. Le tableau 3.2 montre ces caractéristiques :

La figure 3.4 montre les différentes composants / sockets de la carte waspmote Pro v1.2 :

Chapitre 3. Implémentation et Réalisation

Tableau 3.2 – Caractéristique du Waspmove Pro V1.2

Composants	Caractéristiques
Microcontrôleur	ATmega1281
Fréquence	14.7456
SRAM	8KB
EEPROM	4KB
Mémoire Flash	128KB
Carte SD	2GB
Poids	20gr
Dimensions	73.5 x 51 x 13 x 13 mm
Température	[−10C°, +65C°]

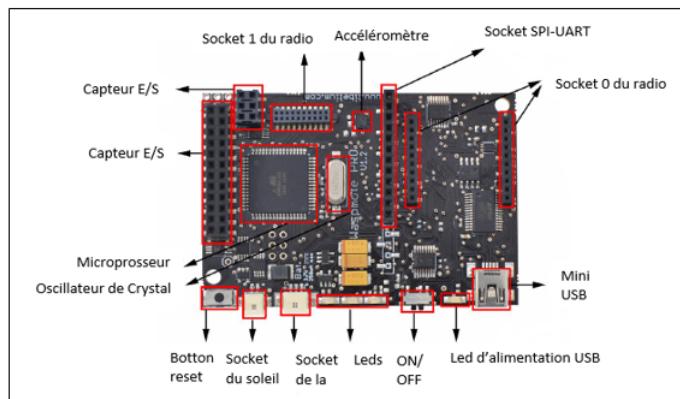


FIGURE 3.4 – Composants principale de la carte Waspmove Pro V1.2

GPS Waspmove peut intégrer un récepteur GPS qui permet de connaître l'emplacement du nœud capteur en mode extérieur (outdoor). Ainsi, les champs heure et date actuelles peuvent être capturés avec ce module, ces champs peuvent synchroniser l'horloge interne de la carte waspmote (RTC).

La figure 3.5 montre le capteur GPS :

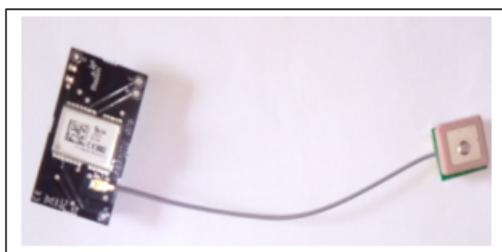


FIGURE 3.5 – Illustration du capteur GPS.

Tableau 3.3 – Les caractéristiques du capteur d'humidité 808H5V5

Caractéristiques	Valeurs
Plage de mesure	0 ~ 100% HR
Signale de sortie	0.8 ~ 3.9 V (25°C)
Précision	<± 4% HR (à 25 C, portée 30 ~ 80%), <± 6% HR (plage 0 ~ 100)
Tension d'alimentation	5V DC ± 5%
Température de fonctionnement	-40 ~ + 85°C
Temps de réponse	<15 secondes
Consommation typique	0,38mA
Consommation maximale	0.5mA

3.3.2.2 WaspMote Gas Sensor Board v2.0

La carte WaspMote Gas sensor board 2.0 est conçue pour capturer les paramètres environnementaux tels que la température, l'humidité, la pression atmosphérique et 14 différents types de gaz. Le kit qu'il dispose notre laboratoire contient un capteur de température, un capteur d'humidité, un capteur CO et un capteur CO2.

La figure 3.6 montre cette carte :

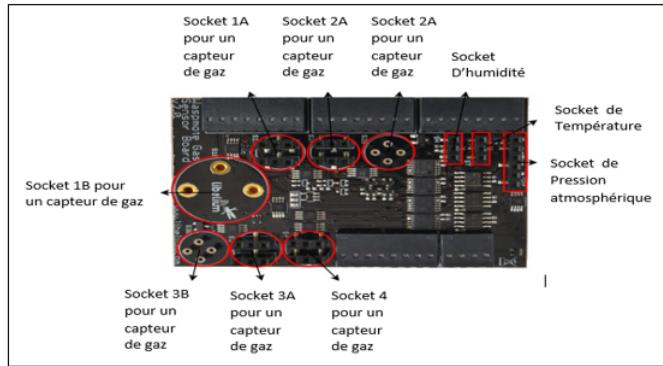


FIGURE 3.6 – WaspMote Sensors Gas.

3.3.2.3 Capteur d'Humidité 808H5V5

Le capteur d'humidité 808H5V5 a les caractéristiques suivantes (tab. 3.3) :

La figure 3.7 montre le capteur d'humidité 808H5V5 utilisé :

Chapitre 3. Implémentation et Réalisation

Tableau 3.4 – Les caractéristiques du capteur de température MCP9700A

Caractéristiques	Valeurs
Plage de mesure	[-40°C , $+125^{\circ}\text{C}$]
Voltage de sortie	500mV
Sensibilité	10mV/C
Précision	$\pm 2\text{C}$ (plage $0\text{C} \sim +70\text{C}$), $\pm 4\text{C}$
Tension d'alimentation	2.3 ~ .5V
Temps de réponse	1.65 secondes (63% de réponses de $+30$ à $+125^{\circ}\text{C}$)
Consommation typique	$6\mu\text{A}$
Consommation maximale	$12\mu\text{A}$

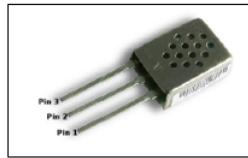


FIGURE 3.7 – Capteur d'humidité 808H5V5.

3.3.2.4 Le capteur de température MCP9700A

Le tableau 3.4 montre les caractéristiques du capteur MCP9700A :

La figure 3.8 montre la photo du capteur MCP9700A utilisé :



FIGURE 3.8 – Photo du capteur de température MCP9700A.

3.3.2.5 Capteur de monoxyde de carbone (CO) TGS2442

Le Capteur de CO -TGS2442- a les caractéristiques montrés dans le tableau 3.5 (tab. 3.5) :

La figure 3.9 montre la photo du Capteur de CO -TGS2442 :

Chapitre 3. Implémentation et Réalisation

Tableau 3.5 – Les caractéristiques du Capteur de CO -TGS2442

Caractéristiques	Valeurs
Plage de mesure	30 ~ 1000 ppm
Résistance à 100ppm	13.3 ~ 133k μ
Sensibilité	0.13 ~ 0.31 (rapport entre la résistance à 300ppm et à 100ppm)
Tension d'alimentation	5V ± 0.2V DC
Température de fonctionnement	-10 ~ + 50°C
Temps de réponse	1 seconde
Résistance de charge minimale	10k Ω
Consommation moyenne	3mA (tout au long du cycle d'alimentation complet en une seconde)

Tableau 3.6 – Les caractéristiques du Capteur de CO2 -TGS4161

Caractéristiques	Valeurs
Plage de mesure	30 ~ 1000 ppm
Résistance à 100ppm	13.3 ~ 133k Ω
Sensibilité	0.13 ~ 0.31 (rapport entre la résistance à 300ppm et à 100ppm)
Tension d'alimentation	5V ± 0.2V DC
Température de fonctionnement	-10 ~ + 50C
Temps de réponse	1 seconde
Résistance de charge minimale	10k Ω
Consommation moyenne	3mA (tout au long du cycle d'alimentation complet en une seconde)



FIGURE 3.9 – Photo du Capteur de CO -TGS2442.

3.3.2.6 Capteur du dioxyde de carbone (CO2) -TGS4161-

Le capteur de CO2 TGS4161 a les caractéristiques montrés dans le tableau 3.6 (tab. 3.6) :

La figure 3.10 montre la photo du capteur de CO2-TGS4161 :



FIGURE 3.10 – Photo du Capteur de CO₂ -TGS4161.

3.3.2.7 Waspmove Gateway

Cette carte (voir figure 3.11) jeu deux rôle, le premier est collecter des données qui traversent le réseau et les transforme vers un port usb (pc), et la deuxième fonctionnalité est de configurer les modules radios (xbee) utilisé pour l'échange de messages.

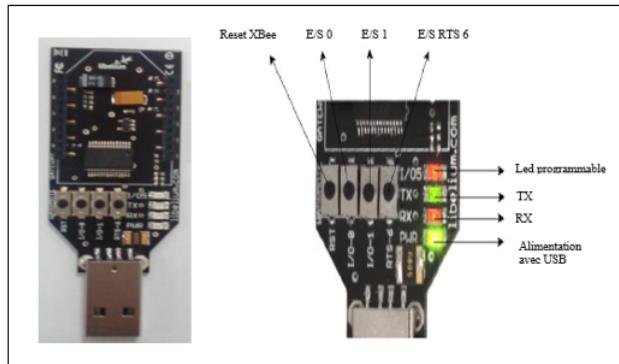


FIGURE 3.11 – waspmote Gataetay.

3.3.2.8 La carte XBee PRO S1

Le module radio XBee PRO S1 est une solution intégrée fournissant une connectivité sans fil aux périphériques. Ce module utilise le protocole réseaux IEEE 802.15.4 pour une mise en réseau point à multi point ou point à point rapide. Il est conçu pour des applications à haut débit nécessitant une latence faible et un temps de communication prévisible. Ces modules peuvent être gérés par le logiciel XCTU. XCTU est un logiciel gratuit, fourni par la firme Digi, et permet de configurer les Xbee [10].

La figure 3.12 montre ce module :



FIGURE 3.12 – Photo de la carte XBee PRO S1.

La figure 3.13 englobe le matériel utilisé dans le testbed. dont, le nœud capteur (bas à droite) qui est composé de la carte waspmote, module radio(XBee), carte de capture pour capturer la température, l'humidité, le CO et le CO₂, une batterie pour alimenter l'ensemble. Après la capture, les données sont transmises vers le nœud relai qui est composé de la carte waspmote et le module radio, l'ensemble est alimenté par une batterie. A son tour, le relai va acheminer l'information vers la station de base via la Gateway (Sink) qui est composé du waspmote gateway et d'un module radio (XBee).

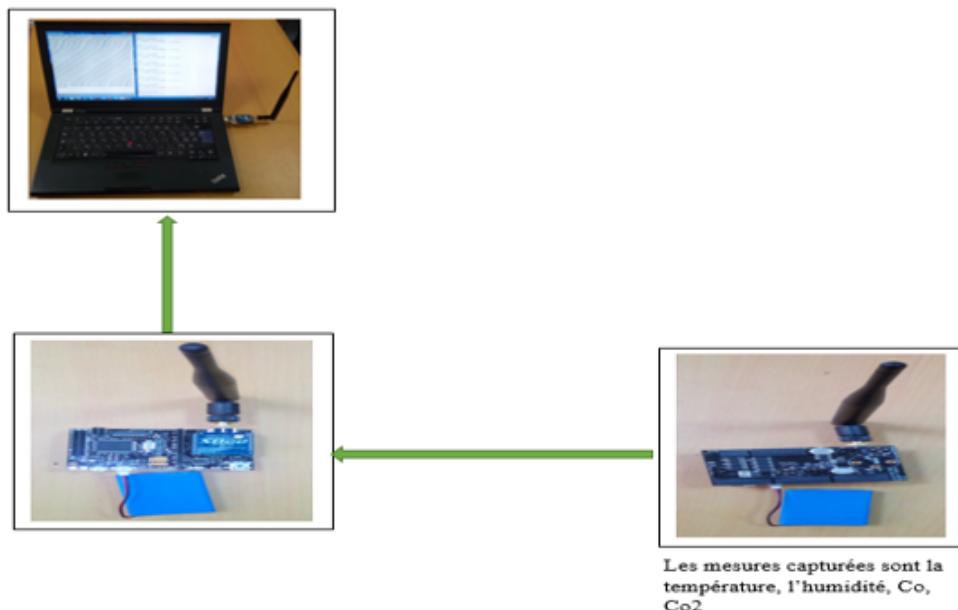


FIGURE 3.13 – Le schéma général de la circulation des données.

3.3.3 Configuration et programmation des capteurs

Dans cette partie on va voir comment configurer et programmer les différentes entités présentées dans la section précédente.

3.3.3.1 Les modules radios (xbee)

Pour configurer les XBee, il faut suivre les étapes suivantes :

Chapitre 3. Implémentation et Réalisation

1. Placer l'XBee sur la carte waspmote gateway
2. Brancher la Gateway sur le port USB du PC
3. Lancer le logiciel XCTU
4. Cliquer sur l'icône de la recherche
5. Choisir le port dont lequel le Gateway est placé
6. Cliquer sur le Botton « Next »
7. Cliquer sur le Botton « Finsh »
8. Cliquer sur le Botton « Add selected devices »
9. Cliquer sur l'icône de l'XBee qui vient d'apparaître
10. Une fenêtre qui s'affiche comporte plusieurs paramètres à ajuster selon les besoins.
11. Après modification, cliquer sur le Botton « Write » pour enregistrer les modifications.

Il faut que tous les XBee du réseau aient le même canal, et le même ID PAN pour qu'ils puissent communiquer entre eux.

La figure 3.14 montre les principales étapes de la configuration du XBee.

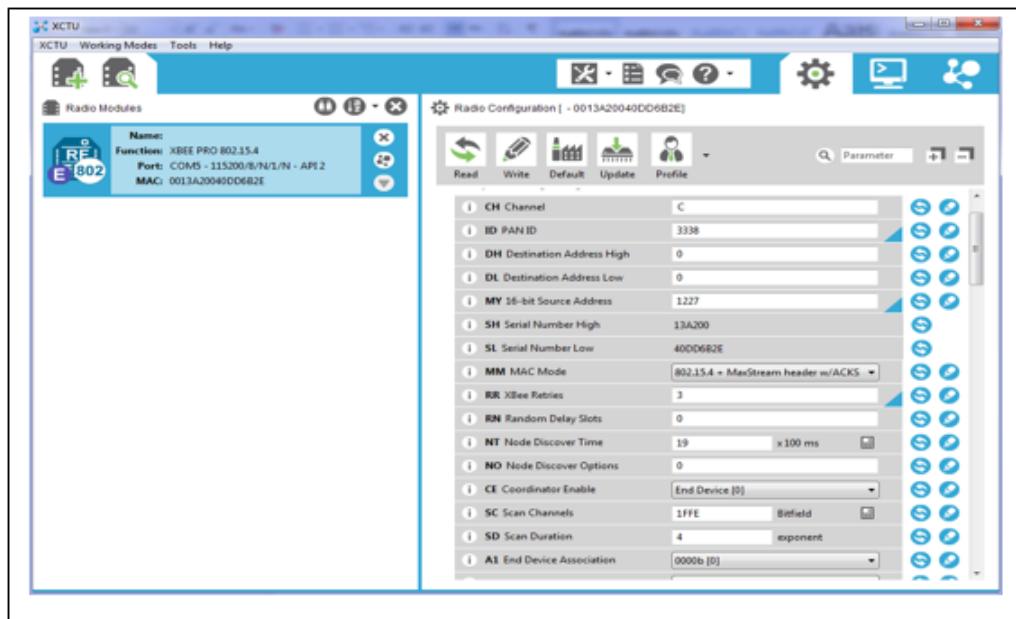


FIGURE 3.14 – Étape 10 de la configuration de L'XBEE.

3.3.3.2 programmation d'un nœud capteurs source

La programmation d'un nœud capteur waspmote nécessite :

Une carte « microcontrôleur » waspmote.

Un ordinateur.

L'IDE waspmote.

Un câble mini USB pour connecter la carte Waspmove avec le PC.

Dans notre cas, nous voulons que le nœud capteur source capte la température, l'humidité, la concentration du monoxyde de carbone et la concentration du dioxyde de carbone et envoyer ces mesures à un nœud relai. Donc, Le nœud capteur source sera programmé ainsi (fig. 3.15) :

```
....  
....  
  
coVal = SensorGasv20.readValue(SENS_SOCKET4CO);           //lire la valeur de CO  
temperatureVal = SensorGasv20.readValue(SENS_TEMPERATURE); //lire la valeur de la  
température  
co2Val = SensorGasv20.readValue(SENS_CO2);                 //lire la valeur de CO2  
humidityVal = SensorGasv20.readValue(SENS_HUMIDITY);       //lire la valeur de l'humidité  
frame.createFrame( ASCII );                                // create une trame  
frame.addSensor(SENSOR_TCA, temperatureVal);             // remplir la trame  
frame.addSensor(SENSOR_HUMA, humidityVal);  
frame.addSensor(SENSOR_CO2, co2Val);  
frame.addSensor(SENSOR_CO, coVal);  
packet = xbee802.send(RX_ADDRESS, frame.buffer, frame.length ); // envoyer le packet  
....  
....
```

FIGURE 3.15 – Le programme du nœud capteur source.

3.3.3.3 programmation d'un nœud relai

Le relai à son tour lit le canal et réceptionne les données et les ré-envoyer au sink, voici le code source d'un relai (fig. 3.16).

```

.....
.....
packet = xbee802.receivePacketTimeout( 10000 ); // recevoir le packet
packet2 = xbee802.send( RX_ADDRESS, xbee802._payload, xbee802._length ); // re-envoyer
le packet
.....
.....

```

FIGURE 3.16 – Le programme d'un nœud relai.

3.3.4 Visualisation des données

Après avoir configuré/programmé les différentes entités, il reste à vérifier le comportement de chaque entité, et pour le faire on doit examiner la sortie de chaque un.

3.3.4.1 à partir d'un nœud source

L'affichage de données capturées par le nœud source se fait directement via l'IDE waspmote pro, la figure 3.17 représente ces données.

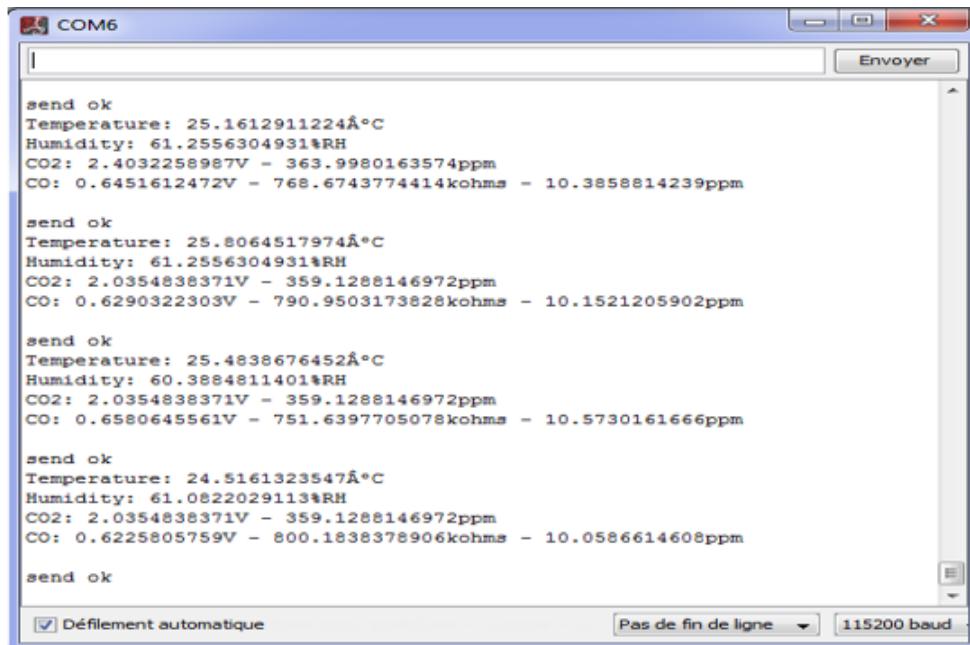
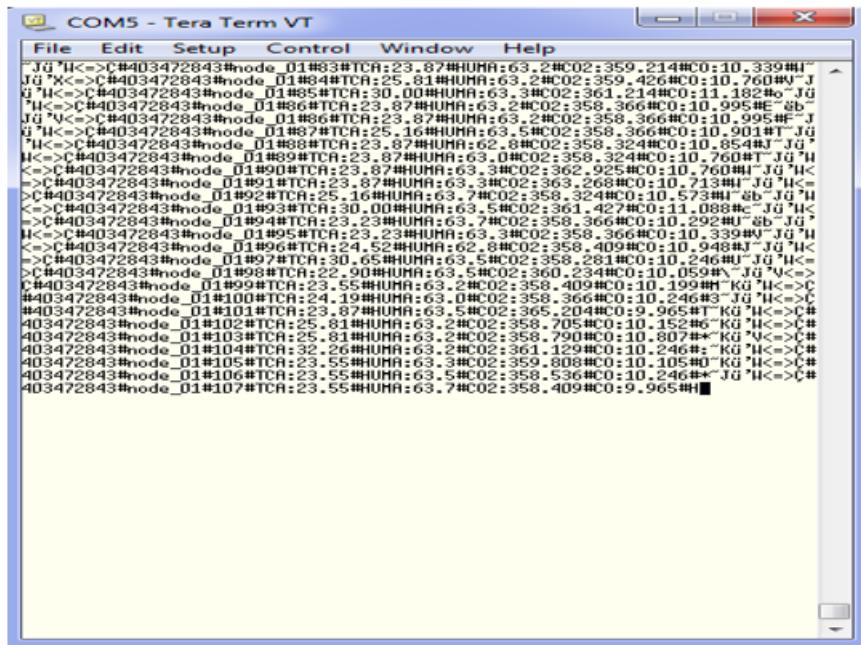


FIGURE 3.17 – L'affichage des données capturées par le nœud source.

3.3.4.2 à partir de la Gateway

Pour afficher les données reçus par la gateway nous allons utiliser le logiciel Tera Term (un hyper terminal), après son installation, choisir à chaque lancement du logiciel le port dont lequel la Gateway est attaché avec le PC, choisir aussi le débit symbole des données communiquées.

La figure 3.18 représente les données reçus par la Gateway



The screenshot shows a window titled "COM5 - Tera Term VT". The menu bar includes File, Edit, Setup, Control, Window, and Help. The main window displays a continuous stream of data received from the gateway. The data consists of numerous lines of text, each starting with a timestamp and a command or identifier followed by parameters. For example, one line reads: "01#03472843#node_01#83#TCA:23.87#HUHA:63.2#C02:359.214#C0:10.339#H~". The data is scrollable, with a vertical scrollbar visible on the right side of the window.

FIGURE 3.18 – L'affichage des données reçus par la Gateway.

3.3.5 Le Stockage des données dans une base de données

En utilisant phpMyAdmin de WampServer et par le biais de système de gestion des bases de données MYSQL, nous avons créé une base de données pour stocker les mesures qui viennent via la Gateway.

La figure 3.19 montre la structure de la table qu'on va utiliser pour stocker les mesures

Chapitre 3. Implémentation et Réalisation

The screenshot shows the MySQL Workbench interface with the following details:

Serveur: mysql wampserver > Base de données: collected_data > Table: waspmote

Afficher Structure SQL Rechercher Insérer Exporter

#	Nom	Type	Interclassement	Attributs	Null	Défaut	Extra	Ac
1	id	int(20)			Non	Aucune	AUTO_INCREMENT	
2	id_node	varchar(20)	latin1_swedish_ci		Non	Aucune		
3	temp	float			Non	Aucune		
4	hum	float			Non	Aucune		
5	co2	float			Non	Aucune		
6	co	float			Non	Aucune		
7	ddate	date			Non	Aucune		
8	ttime	time			Non	Aucune		

FIGURE 3.19 – La structure de la table de la base de données.

3.3.5.1 Le développement d'une application java pour stocker les mesures dans la BDD

```

public static void main(String[] args) {                                // la méthode main
    connection();
    portList = CommPortIdentifier.getPortIdentifiers();
    while (portList.hasMoreElements()) {
        portid = (CommPortIdentifier) portList.nextElement();
        if (portid.getPortType() == CommPortIdentifier.PORT_SERIAL) {
            if (portid.getName().equals("COM5")) {
                serialdatetime reader = new serialdatetime();
            }
        }
    }
}
comme le débit des données (BD 115200)          // ouvrir le port et de associer les paramètres
public serialdatetime() {
    serialPort = (SerialPort) portid.open("SimpleReadApp", 2000);
    inputStream = serialPort.getInputStream();
    serialPort.addEventListener(this);
    serialPort.notifyOnDataAvailable(true);
    serialPort.setSerialPortParams(115200, SerialPort.DATABITS_8, SerialPort.STOPBITS_1, SerialPort.PARITY_NONE);
    readThread = new Thread(this);
    readThread.start();
}
public static void connection(){           // connection avec la base de données
    String url
    = "jdbc:mysql://localhost:3306/collected_data?zeroDateTimeBehavior=convertToNull";
    con = DriverManager.getConnection(url, "root", null);
    st = con.createStatement();
}
public void serialEvent(SerialPortEvent event) {           // lire les les données reçus par le Gateway
    switch(event.getEventType()) {
        case SerialPortEvent.DATA_AVAILABLE:
            byte[] readBuffer = new byte[78];
            while (inputStream.available() > 0) {
                int numBytes = inputStream.read(readBuffer);
                String x = new String(readBuffer);
                fragmenter(x);
                break;
            }
    }
}
public static void fragmenter(String x){           // stocker les mesures dans la base de données
    String [] press = x.split("#");
    String v0 = press[2];
    float v1 = Float.parseFloat((press[4].split(":"))[1]);
    float v2 = Float.parseFloat((press[5].split(":"))[1]);
    float v3 = Float.parseFloat((press[6].split(":"))[1]);
    float v4 = Float.parseFloat((press[7].split(":"))[1]);
    ....
}

```

FIGURE 3.20 – Programme qui permet de stocker les données reçus dans la BDD.

La figure qui suit (fig. 3.21) montre les données ajoutées dans la base de données :

id	id_node	temp	hum	co2	co	ddate	ttime
1629	node_01	24.52	56.9	348.349	9.078	2017-06-01	19:38:13
1630	node_01	24.52	56.2	351.2	9.078	2017-06-01	19:38:19
1631	node_01	23.87	57.3	354.158	9.171	2017-06-01	19:38:26
1632	node_01	26.45	56.9	348.39	9.778	2017-06-01	19:38:33
1633	node_01	33.55	56.9	348.678	9.078	2017-06-01	19:38:41
1634	node_01	25.16	57.3	348.184	9.125	2017-06-01	19:38:54
1635	node_01	24.19	57.3	348.143	8.938	2017-06-01	19:39:00
1636	node_01	26.13	57.3	348.225	9.218	2017-06-01	19:39:07
1637	node_01	24.19	57.1	353.865	9.218	2017-06-01	19:39:37
1638	node_01	24.19	57.4	348.266	9.312	2017-06-01	19:39:45
1639	node_01	24.19	57.3	348.266	9.171	2017-06-01	19:39:52

FIGURE 3.21 – Les données ajoutées dans la base de données.

3.3.6 La visualisation des données

Il nous reste maintenant après intégration des données dans la BDD de les visualiser, pour le faire, nous avons développé une application java qui permet de tracer les courbes des mesures physiques capturées avec certains contraintes que nous allons les détailler dans ce qui suit.

3.3.6.1 L'interface graphique de l'application

La figure 3.22 montre l'interface principale de notre application java, elle est programmée pour représenter les données stockées dans la base de données de deux manières (toutes les mesures stockées, ou sélection par tranche), et la troisième manière nous reflète les mesures reçus en temps réel.

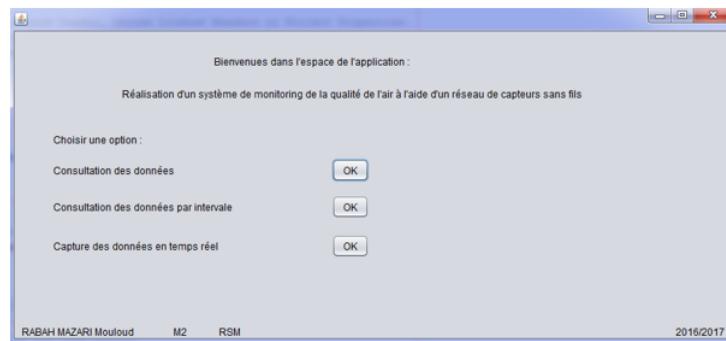


FIGURE 3.22 – L'interface principale de l'application.

Chapitre 3. Implémentation et Réalisation

La première interface secondaire (figure 3.21) permet de choisir une mesure à afficher (température ou l'humidité ou co ou co2), et l'afficher sous forme de courbe.

La première interface secondaire (figure III.21) permet de choisir une mesure à afficher (température ou l'humidité ou co ou co2), et l'afficher sous forme de courbe.

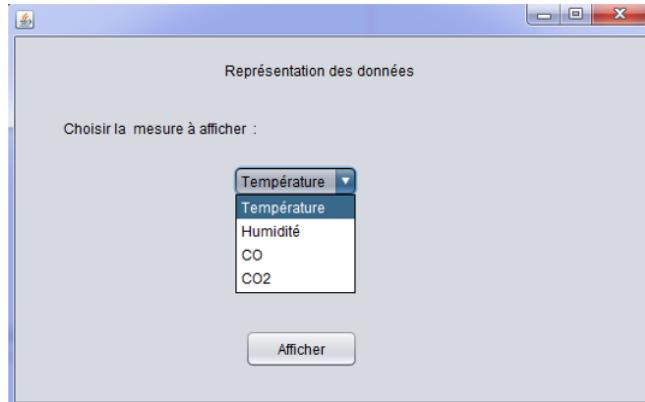


FIGURE 3.23 – L'interface qui permet d'afficher tous les d'une mesure dans la BDD.

Après sélection de la mesure, voici le code java (fig. 3.24) qui permet de tracer les courbes à partir des données :

```
public static void connection(){
    String url
    ="jdbc:mysql://localhost:3306/collected_data?zeroDateTimeBehavior=convertToNull";
    con = DriverManager.getConnection(url,"root",null);
    st = con.createStatement();
    String rq1 ="select * from waspmote";
    tab = st.executeQuery(rq1);
}

@Override public void start(Stage stage) {
stage.setTitle("Line Chart");
final CategoryAxis xAxis = new CategoryAxis();
final NumberAxis yAxis = new NumberAxis();
xAxis.setLabel("Date");
yAxis.setLabel("Température");
final LineChart<String,Number> lineChart = new LineChart<String,Number>(xAxis,yAxis);
lineChart.setTitle(" Air Monitoring");
XYChart.Series series1 = new XYChart.Series();
series1.setName("Température");
String str;
connection();
while(tab.next()){
    str=tab.getDate("ddate")+" "+tab.getTime("ttime");
    series1.getData().add(new XYChart.Data(str, tab.getFloat("temp")));
}
Scene scene = new Scene(lineChart,800,600);
lineChart.getData().add(series1);
stage.setScene(scene);
stage.show();
}

public static void main(String[] args) {
launch(args);
}
```

Chapitre 3. Implémentation et Réalisation

FIGURE 3.24 – La partir du code java qui permet de tracer la courbe de température.

Voici (fig 3.25 - 3.28) sous forme de courbe les figures qui représentent les mesures indiqués dans l'interface précédente :

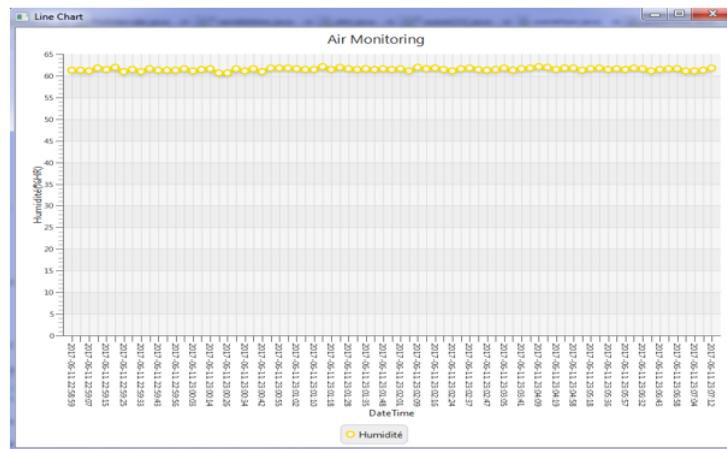


FIGURE 3.25 – L'humidité relative par rapport au temps.

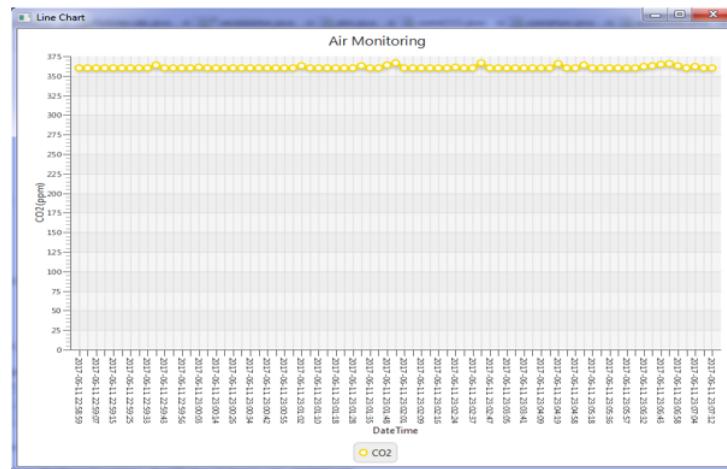


FIGURE 3.26 – La concentration de CO2 par rapport au temps.

Chapitre 3. Implémentation et Réalisation

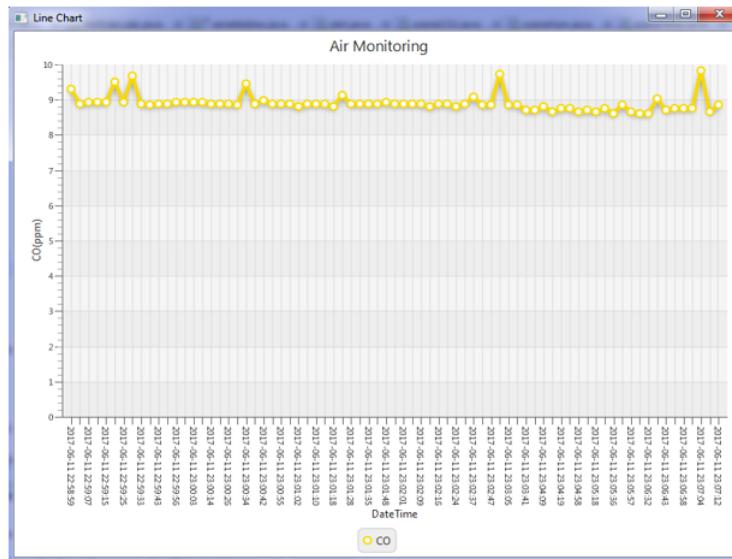


FIGURE 3.27 – La concentration de CO par rapport au temps.

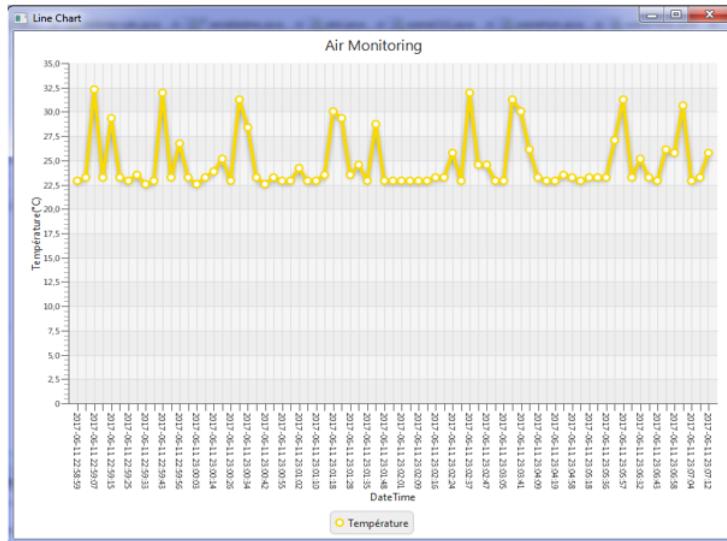


FIGURE 3.28 – La température par rapport au temps.

Le deuxième cas de figure, c'est de choisir dans la base de données une tranche de temps et afficher la mesure désiré de la même manière que la précédente.

Chapitre 3. Implémentation et Réalisation



FIGURE 3.29 – Le choix de la mesure dans le deuxième cas .

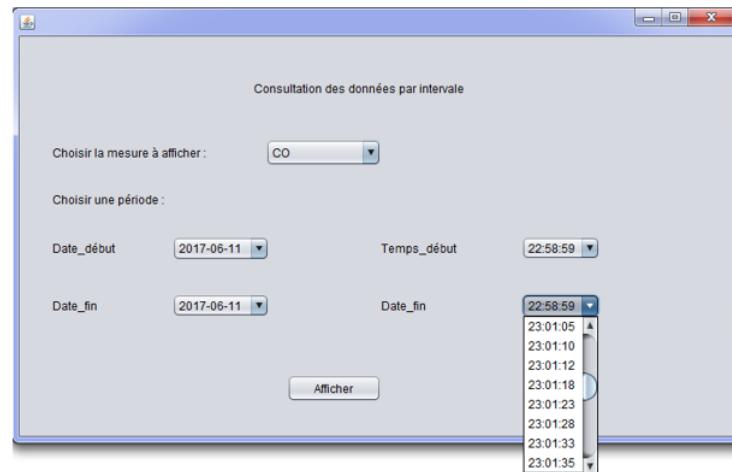


FIGURE 3.30 – Le choix d'une période dans le deuxième cas .

Ensuite, de la même manière on va représenter les mesures capturées après sélection :

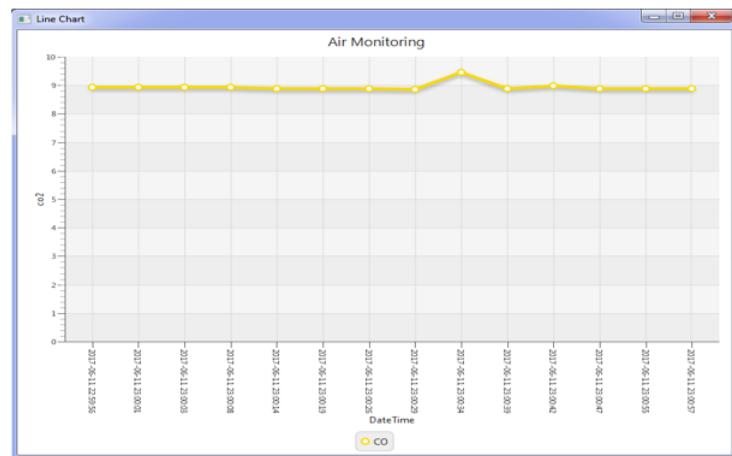


FIGURE 3.31 – Le choix d'une période dans le deuxième cas

Chapitre 3. Implémentation et Réalisation

la concentration de CO par rapport au temps dans une période donné

Enfin, la figure 3.32 c'est la troisième interface secondaire, cette interface permet de visualiser en temps réel les données d'une mesure choisie.



FIGURE 3.32 – La troisième interface secondaire

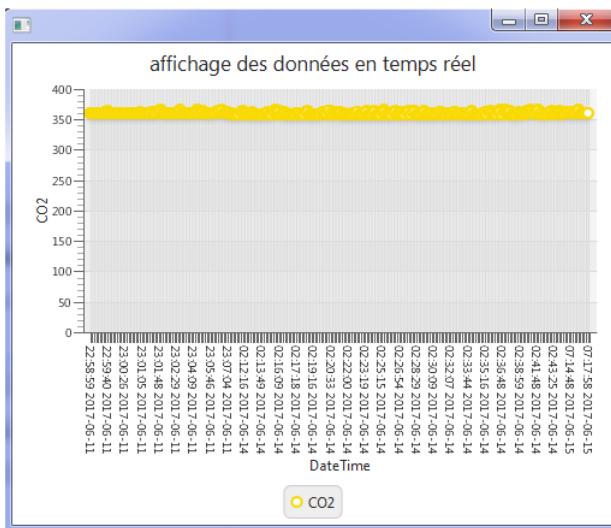


FIGURE 3.33 – La concentration de CO₂ par rapport au temps en temps réel

Après insertion d'une mesure dans la base de données, elle sera ajoutée automatiquement dans la courbe, la figure 3.34 représente les modifications subies à la figure précédente.

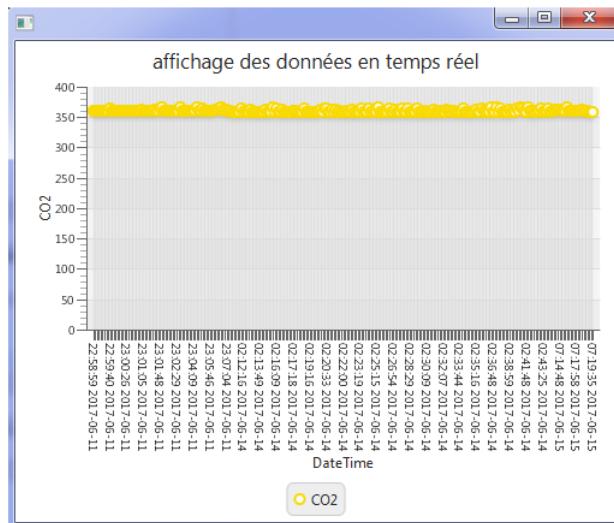


FIGURE 3.34 – L'état de la figure précédente après un ajout des données dans la BDD

3.3.7 L'Indice de la Qualité de l'Air (IQA)

l'indice de la qualité de l'air c'est un indicateur qui permet de définir le taux de pollution dans l'air, cet indice est calculé à partir des mesures des capteurs suivants : O₃, NO₂, PM, SO₂, CO. la valeur finale de l'IQA est le max entre les IQA de chaque capteur. Son calcul (IQA) est détaillé dans le chapitre 1. La figure 3.35 représente l'IQA calculé sur une période par le programme java.

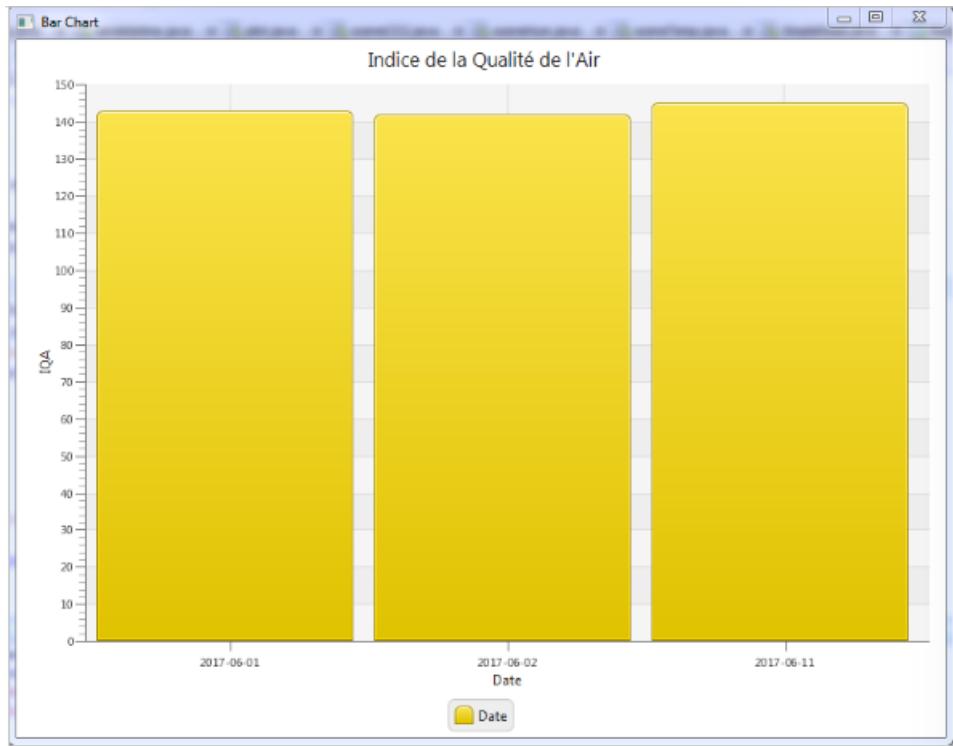


FIGURE 3.35 – Illustration de l'IQA

3.4 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons détaillé les différentes parties par définition des besoins matériels et logiciels, ensuite configuration et programmation des cartes, enfin programmation et création des toutes les interfaces et bases de données nécessaires. Ensuite, nous avons représenté les mesures capturées et sauvegardées dans la base de données par différentes manière pour mieux faciliter la visualisation et le contrôle des données. Dans le processus de création de l'application de capture à téléverser dans la carte waspmote, nous avons rencontré des problèmes techniques qui nous a prisent beaucoup de temps pour ajuster les meures à capturer, par exemple, les capteurs sont très sensibles au délai, surtout le capteur co et le capteur de température, la chose qui nous a obligé des fois à éteindre le capteur et le ré-allumer pour prendre en considération ce couplage.

Conclusion générale

Les récentes avancées dans le domaine des technologies sans-fil et électronique ont permis le développement à faible coût de minuscules capteurs consommant peu d'énergie. Le réseau de capteurs sans fil permet de développer plusieurs applications dans des différents domaines, et le domaine de monitoring de la qualité de l'air ne fait pas l'exception.

L'utilisation des RCSF pour le monitoring de la qualité de l'air a fait ses preuves du moment qu'on a réussi à capturer des mesures de l'air comme la température, l'humidité, la concentration de dioxyde de carbone et la concentration de monoxyde carbone et d'utiliser ses mesures pour calculer l'indice de la qualité de l'air (AQI).

Durant la réalisation de ce projet, nous avons rencontré plusieurs difficultés :

Parfois il est difficile d'expliquer la capture de valeurs erronées par les capteurs utilisés.

La documentation du kit du constructeur Libelium n'étant pas assez détaillée et surtout que le kit est nouveau et nous sommes les premiers à l'utiliser.

Problème de construire un programme qui permet à l'ensemble des capteurs de fonctionner en même temps, car chaque capteur a son délai de réponse, et lorsque on met un seul programme pour les quatre capteurs, ça veut dire qu'on va forcer le délai d'un capteur ce qui affecte la valeur capturée.

Nous avons travaillé avec un langage limité en termes de ressource (absence de structure de vecteur, d'allocation dynamique, etc.)

Nous proposons comme suite à ce travail l'extension du prototype développé en ajoutant d'autres capteurs comme NO₂, PM, SO₂, O₃ pour mieux préciser l'indice de qualité de l'air (AQI). Il est aussi intéressant d'augmenter le nombre de capteurs pour le passage à l'échelle, ceci permettra de réaliser des applications pratiques intéressantes. Enfin, ce travail fut une expérience très enrichissante pour nous, surtout sur l'aspect pratique qui est très différents de la théorie/simulation. Nous aussi appris beaucoup de notions sur le domaine des réseaux de capteurs sans fils.

Bibliographie

- [1] Ian F Akyildiz, Weilian Su, Yogesh Sankarasubramaniam, and Erdal Cayirci. A survey on sensor networks. *IEEE Communications magazine*, 40(8) :102–114, 2002.
- [2] Imrich Chlamtac, Iacopo Carreras, and Hagen Woesner. From internets to bionets : Biological kinetic service oriented networks. *Advances in Pervasive Computing and Networking*, pages 75–95, 2005.
- [3] Deepak Bagai Navreetinder Kaur, Rita Mahajan. Air quality monitoring system based on arduino microcontroller. *International Journal of Innovative Research in Science-Science, Engineering and Technology (IJIRSET)*, June 2016.
- [4] Luís ML Oliveira and Joel JPC Rodrigues. Wireless sensor networks : A survey on environmental monitoring. *JCM*, 6(2) :143–151, 2011.
- [5] Tansen Patel and P Udayakumar. A survey on wireless sensor networks with air pollution dispersion modeling.
- [6] Priyanka Rawat, Kamal Deep Singh, Hakima Chaouchi, and Jean Marie Bonnin. Wireless sensor networks : a survey on recent developments and potential synergies. *The Journal of supercomputing*, 68(1) :1–48, 2014.
- [7] Prachi Sharma. Wireless sensor networks for environmental monitoring. *International journal of Scientific Research Engineering and Technology*, pages 2278–0882, 2014.
- [8] web site. http://moodle.utc.fr/file.php/498/supportweb/co/module_rcsf_44.html.
- [9] web site. <https://general.developpez.com/edi/#netbeans>.
- [10] web site. <https://learn.sparkfun.com/tutorials/exploring-xbees-and-xctu>.
- [11] web site. <https://www3.epa.gov/airnow/aqi-technical-assistance-document-may2016.pdf>.
- [12] web site. <https://www.bluenote-systems.com/faq-crm-sugarcrm/sepa-signification-definition.html>.
- [13] web site. https://www.libelium.com/downloads/documentation/wasp mote_ide_user_guide.pdf.
- [14] web site. <http://www.dec.ny.gov/chemical/8406.html>.
- [15] web site. <http://www.irisa.fr/prive/bcousin/enseignement/2011-2012/zigbee.2p.pdf>.
- [16] web site. <http://www.sepa.org.uk/making-the-case/air/sepas-role-in-air-quality>.
- [17] web site. <http://www.vaisala.com/en/industrialmeasurements/applications/hvac/iaqandhumancomfort>.
- [18] web site. <https://dumbartonroad.wordpress.com/2016/07/11/air-quality-monitoring-station-in-northinch-street>. derniÃ“re visite le 17/04/17.
- [19] site web. <http://actions-incitatives.ifsttar.fr/fileadmin/uploads/recherches/geri/ntic/ntic14-19mai09/preshadjadj.pdf>.

Bibliographie

- [20] Di Tian and Nicolas D Georganas. A coverage-preserving node scheduling scheme for large wireless sensor networks. In *Proceedings of the 1st ACM international workshop on Wireless sensor networks and applications*, pages 32–41. ACM, 2002.
- [21] Jennifer Yick, Biswanath Mukherjee, and Dipak Ghosal. Wireless sensor network survey. *Computer networks*, 52(12) :2292–2330, 2008.
- [22] Jerry Zhao, Ramesh Govindan, and Deborah Estrin. Computing aggregates for monitoring wireless sensor networks. In *Sensor Network Protocols and Applications, 2003. Proceedings of the First IEEE. 2003 IEEE International Workshop on*, pages 139–148. IEEE, 2003.