



RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Université 20 Août 1955 Skikda

Faculté de Sciences

Département d'Informatique

Mémoire de Master en Informatique

Option

Réseaux et Systèmes Distribués (RSD)

Thème

**Le routage adapté avec la méthode d'accès
au media CDMA dans les réseaux de
capteurs sans fils**

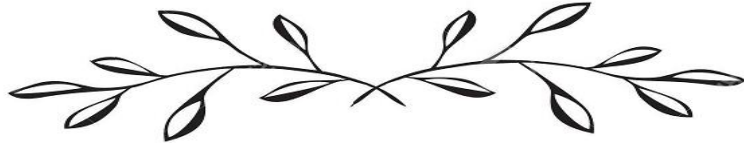
Réalisé par :

- Bouasla Imane
- Lalem Abir

Encadré par :

- Boulaiche Mehdi

Session : juin 2022



Remerciements

Nous tenons tout d'abord à remercier Dieu le tout puissant pour nous avoir donné

La force de réaliser ce modeste travail.

Nous tenons à remercier aussi mes parents pour leurs soutiens et encouragements

Durant mes années d'études.

*Mes vifs remerciements s'étendent également à mon encadreur le professeur Boulaiche Mehdi
, à l'université 20 aout 1954 de Skikda, pour son encouragement ainsi ses valeureux conseils et
orientation, la confiance, la patience, qui ont constitué un apport considérable sans lequel ce
Travail n'aurait pas pu être mené au bon port.*

Je remercie également les membres du jury qui ont accepté de participer à

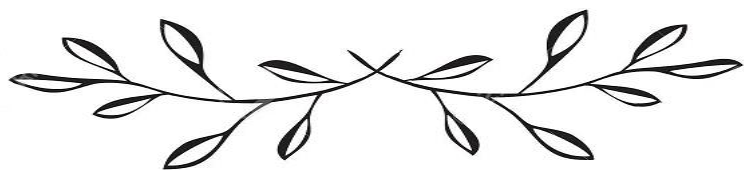
La discussion de mon travail.

*Nous remercions toutes les personnes qui m'ont aidée durant la préparation de ce mémoire de
Près ou de loin.*

Merci

Bouasla imane

Lalem abir



Dédicace

Grace à Dieu voila notre travail terminé et il est temps pour moi de partager ma joie avec tout ceux qui mon soutenu et encourager.

Je dédié ce travail :

À mes très chers parents

A toute ma famille

À mes frères et mes sœurs

A mes très chers ami(e)s, en témoignage de l'amitié qui nous uni et des souvenirs de tous les moments que nous avons passés ensemble, je vous dédie ce travail et je vous souhaite une vie pleine de santé et de bonheur.

A toutes mes camarades.

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

Merci

Table des Matières

Introduction général	1
Chapitre I : Généralités sur les réseaux de capteurs sans fil	
1. Introduction	4
2. Qu'est-ce qu'un capteur	4
2.1. Définition	4
2.2. Architecture d'un capteur	6
2.2.1. Architecture matérielle	6
2.2.2. Architecture Logicielle	7
2.3. Types de capteurs	7
2.4. Caractéristiques d'un capteur	8
3. Réseaux de capteurs sans fil (RCSF)	9
3.1. Définition	9
3.2. Description des réseaux de capteurs sans fil (RCSF)	10
3.3. Architectures d'un réseau de capteurs sans fil	10
3.4. Contraintes de conception des RCSF	11
3.4.1. Durée de vie du réseau	11
3.4.2. Ressources limitées	11
3.4.3. Bande passante limitée	11
3.4.4. Facteur d'échelle	12
3.4.5. Topologie dynamique	12
3.4.6. Agrégation de donnée	12
3.5. Application des RCSF	13
3.6. Caractéristique des RCSF	14

3.7. Conclusion	15
-----------------------	----

Chapitre II : Les méthodes d'accès aux médias et les protocoles de routage dans les RCSFs

Parte 01 : les méthodes d'accès aux media	17
1. Introduction	17
2. Accès multiple par répartition de fréquences (FDMA)	17
3. Accès multiple par répartition dans le temps (TDMA)	19
4. Accès multiple par répartition de codes ou "Code Division Multiple accès (CDMA)"	19
4.1. Système CDMA à créneaux-horaires	22
4.2. CDMA synchrone	22
4.3. CDMA asynchrone	23
4.4. Accès multiple par répartition de codes à saut de fréquence	23
4.5. Accès multiple par répartition de code à séquences directes	25
Part 2 : les protocoles de routage dans les réseaux de capte sans fil	26
1. Introduction	26
2. Les critères de performance des protocoles de routage RCSF	26
3. Classification des protocoles de routage dans les RCSF	27
4. Selon la structure du réseau	28
4.1. Protocoles de routage plat	28
4.2. Protocoles de routage hiérarchique	29
4.3. Protocoles de routage basé sur la localisation	30
4.3.1. MECN et SMECN	31
4.3.2. Le protocole de routage « GAF »	31
4.3.3. Le protocole de routage « GEAR »	31
4.3.4. Le protocole GPSR	32
4.3.4.1. Principe de fonctionnement	32
4.3.4.2. Greedy Forwarding	33

4.3.4.3. Périmètre Forwarding	34
5. Conclusion	35

Chapitre III : Conception et proposition

1. Introduction	37
2. Modèle du réseau	37
3. Fonctionnement du protocole	37
3.1. Phase de génération des codes CDMA	38
3.1.1 Comment fonctioned CDMA	38
3.1.2. Transformée rapide de Walsh Hadamard (FWHT)	42
3.1.3 Processus de chiffrement	43
3.1.4 Processus de permutation	43
3.1.5 Mécanisme de sélection dynamique	44
3.1.6. MFR (Most Forwarding with Radius)	47
3.2. Phase d'acheminement des paquets	48
4. Conclusion	49

Chapitre IV : Implémentation

1. Introduction	51
2. Hypothèses	51
3. Les choix techniques	51
4. Description du Langage et des environnements de développement	52
4.1 Langage de programmation java	52
4.1.1. Quelques caractéristiques du langage java.....	52
4.2. Environnement de développement Intégré (IDE) Eclipse	52
4.2.1 Caractéristiques de l'environnement de développement Eclipse	53
5. les interfaces de notre application	53
5.1 Interface d'accueille	53

5.2 Construction des chemins	54
5.3. Comparaison de résultat	55
6. Conclusion	57
Conclusion Générale	58

Table des figures

Chapitre I : Généralités sur les réseaux de capteurs sans fil

Figure 1.1 : Schéma Fonctionnel d'un capteur.....	5
Figure 1.2 : Schéma représentatif du mécanisme de traduction d'un capteur.....	5
Figure 1.3 : Architecture d'un capteur sans fil.....	6
Figure 1.4 : Evolution des capteurs.....	8
Figure 1.5 : Architecture d'un réseau de capteurs sans fil [5]	9
Figure 1.6 : Architecture de communication dans les RCS [13]	11
Figure 1.7 : Quelques domaines d'application pour les RCSF.....	14

Chapitre II : Les méthodes d'accès aux médias et les protocoles de routage dans les RCSFs

Figure 2.1 : Technique d'accès FDMA.....	17
Figure 2.2 : Schéma d'un multiplexage en fréquence (FDMA).....	18
Figure 2.3 : Technique d'accès TDMA	19
Figure 2.4 : Schéma d'un multiplexage par code (CDMA).....	20
Figure 2.5 : Effet de l'étalement de spectre sur la présence d'un brouilleur.....	21
Figure 2.6 : Structure trame/fente d'un système CDMA [7]	22
Figure 2.7 : diagramme of asynchronies CDMA system.....	23
Figure 2.8 : Schéma d'un codage CDMA à saut de fréquence lent (SFH-CDMA) [11]	24
Figure 2.9 : Schéma d'un codage CDMA à saut de fréquence rapide (FFH-CDMA) [11].....	24
Figure 2.10 : Schéma d'un codage CDMA par séquence directe (DS-CDMA) [11].....	25
Figure 2.11 : Classification des protocoles de routage dans les RCSF.....	27
Figure 2.12 : Routage plate	28
Figure 2.13 : Routage hiérarchique	29
Figure 2.14 : Routage Basée Localisation	30

Figure 2.15 : y est le voisin de x le plus proche de la destination D	33
Figure 2.16 : X est plus proche de d que ses voisins	34
Figure 2.17 : Passage au mode PR	34
Chapitre III : Conception et proposition	
Figure 3.1 : le nœud S sélectionne le nœud N3 comme prochain saut dans le MFR	47
Figure 3.2 : Cycle de transmission de notre protocole	48
Figure 3.3 : Exemple de fonctionnement de l'approche proposée	49
Chapitre IV : Implémentation	
Figure 4.1 : interface d'accueil	54
Figure 4.2 : formation des chemins	55
Figure 4.3 : Graphe de consommation de temps	56
Figure 4.4 : Graphe de comparaison nombre de paquet	56

Résumé :

Les réseaux de capteurs sans fil (RCSF) sont une nouvelle technologie, qui a surgis après les grands progrès technologiques concernant le développement des nœuds capteurs, des processeurs puissants et des protocoles de communication sans fil. La localisation est devenue un concept intéressant et important dans plusieurs applications, dont certaines de ces applications imposent une forte contrainte temporelle que doit assurer le réseau de capteurs en plus de l'exactitude des résultats. Ce mémoire présente une adaptation du protocole d'accès au support CDMA, dans l'objectif de développer une application de localisations en temps réel, qui exploite le maximum possible de capteurs et permet de gagner en consommation de l'énergie.

Mots clés : Réseaux de capteurs sans fil, Routage géographique, Localisation, CDMA, Technique MFR.

Abstract :

Wireless sensor networks (WSNs) are a new technology, which arose after great technological advances in the development of sensor nodes, powerful processors and wireless communication protocols. Localization has become an interesting and important concept in several applications, some of which impose a strong time constraint that the sensor network must ensure in addition to the accuracy of the results. This thesis presents an adaptation of the access protocol to the CDMA medium, with the aim of developing a real-time location application, which exploits the maximum possible number of sensors and saves energy consumption.

Keywords : Wireless sensor networks, Geographical routing, Localization, CDMA, MFR technical.

Introduction générale :

Depuis quelques décennies, le besoin d'observer, de surveiller à distance et de récupérer les données d'un environnement complexe et distribué s'accroît rapidement surtout avec les récentes avancées des domaines de réseaux et des applications sans fil.

Parmi les technologies, en vogue, répondant à ces domaines, on cite entre autres les réseaux de capteurs sans fil. Un réseau de capteurs sans fil peut être défini comme un ensemble de composants miniatures (capteurs) capable de capter des grandeurs physiques à partir d'un environnement donné et de transformer ces données en grandeurs numériques dans le but d'établir une communication avec les autres capteurs du réseau et d'acheminer la somme des données collectées vers une station de base.

En l'absence d'information sur la position des éléments d'un réseau de capteurs sans fil au sein de l'environnement où ils sont déployés, les données récoltées peuvent s'avérer d'une utilité limitée. Une étape préalable à tout traitement consiste donc à estimer la position de ces nœuds, et de la position supposée connue d'une fraction de capteurs appelés ancres. Ce problème de localisation a fait et fait encore l'objet de nombreux travaux de recherche dans divers domaines tels que la santé, le militaire, l'environnement, etc.

Ce travail rentre dans le cadre de la localisation indoor où l'on cherche à estimer la position d'un stable dans un environnement connu dans lequel est déployé un réseau de capteurs sans fil. et aussi l'application à réaliser doit répondre aux contraintes du temps réel. C'est-à-dire, l'exactitude des résultats n'est pas la seule priorité, ces derniers doivent également être disponibles dans des délais bien déterminés.

Ce mémoire propose une étude sur le protocole d'accès au support utilisé par les réseaux de capteurs sans fil à savoir CDMA. Cette étude a pour objectif d'adapter ce protocole aux applications temps réel. Par ailleurs, la technique de localisation adoptée repose sur le concept de la multi-altération, qui consiste à déterminer la position d'une localisation.

Organisation du mémoire :

Pour mener à bien notre travail, nous avons organisé ce mémoire en quatre chapitres selon le plan méthodologique suivant :

- **Le premier chapitre :** présente des généralités sur les réseaux de capteurs sans fil (RCSF), nous essayons de donner une vue générale sur la notion des capteurs, types de capteurs, de réseaux de capteurs sans fil, son architecture, leurs caractéristiques et contraintes de conception ainsi que leurs domaines d'applications.
 - **Le deuxième chapitre :** nous présentons tout d'abord les méthodes d'accès aux media (FDMA, TDMA) de façons générales et les caractéristiques et les principes de la méthode CDMA, dans la deuxième partie nous parlons sur les protocoles de routages dans les réseaux de capteurs sans fil et on' a présente le protocole de routage basé su localisation apportant une étude critique a ce protocole et leurs avantages et inconvénient.
 - **Le troisième chapitre :** Le troisième chapitre est consacré à la description détaillée de notre solution proposée à la problématique du routage dans les réseaux de capteurs sans fil , tout en détaillant son principe de fonctionnement, et la stratégie de routage définie par la méthode MFR.
 - **Le quatrième chapitre :** est consacré à la description détaillée de notre solution proposée à la problématique du routage géographique dans les réseaux de capteurs sans fil , tout en détaillant son principe de fonctionnement, puis analysant ses performances en le comparant avec les protocoles MFR
- Le travail s'achève par une conclusion mettant l'accent sur les résultats obtenus.

Chapitre I :
Généralités sur les réseaux de
capteurs sans fil

1. Introduction :

Le développement technologique au cours des dernières décennies ont permis l'émergence d'une cohabitation parfaite entre l'informatique et l'électronique.

Cette cohabitation a permis un développement fulgurant des technologies en matière de communication à travers des réseaux sans fil, mobiles et dotés de capteurs sans cesse miniaturisés. Cette nouvelle technologie se fondait sur la collecte de l'information et sa transmission, c'est ainsi que nous avons assisté à l'émergence des capteurs sans fil dont les capacités énergétiques ont évolué avec le temps. D'autre part, les techniques de réseaux mobiles permettent d'affranchir des fils et donc de déployer facilement des réseaux de capteurs dans les endroits même difficiles à y accéder. De plus, dans la vie courante, l'utilisation des capteurs sans fil est en demande croissante pour la supervision et la sécurité.

Dans ce chapitre, nous présentons les réseaux de capteurs sans fil avec un plan méthodologique que nous avons adopté. Nous commençons par une définition d'un capteur, son architecture, ses types et caractéristiques et voir comment ces derniers sont déployés pour former un réseau de capteurs sans fil. Ensuite, l'architectures d'un réseau de capteurs sans fil, d'application des réseaux de capteurs sans fil et les caractéristique et une petite conclusion.

2. Qu'est-ce qu'un capteur :

2.1. Définition :

Un capteur est un dispositif ayant pour tâche de transformer une mesure physique observée en une mesure généralement électrique qui sera à son tour traduite en une donnée binaire exploitable et compréhensible par un système d'information.

Une information est une grandeur abstraite qui précise un événement particulier parmi un ensemble d'événements possibles. Pour pouvoir être traitée, cette information sera portée par un support physique (énergie) on parlera alors de signal. Les signaux sont généralement de nature électrique ou pneumatique.

Parmi les différents types de mesures enregistrées par les capteurs, on peut citer entre autres : la température, l'humidité, la luminosité, l'accélération, la distance, les mouvements, la position, la pression, la présence d'un gaz, la vision (capture d'image), le son, etc...

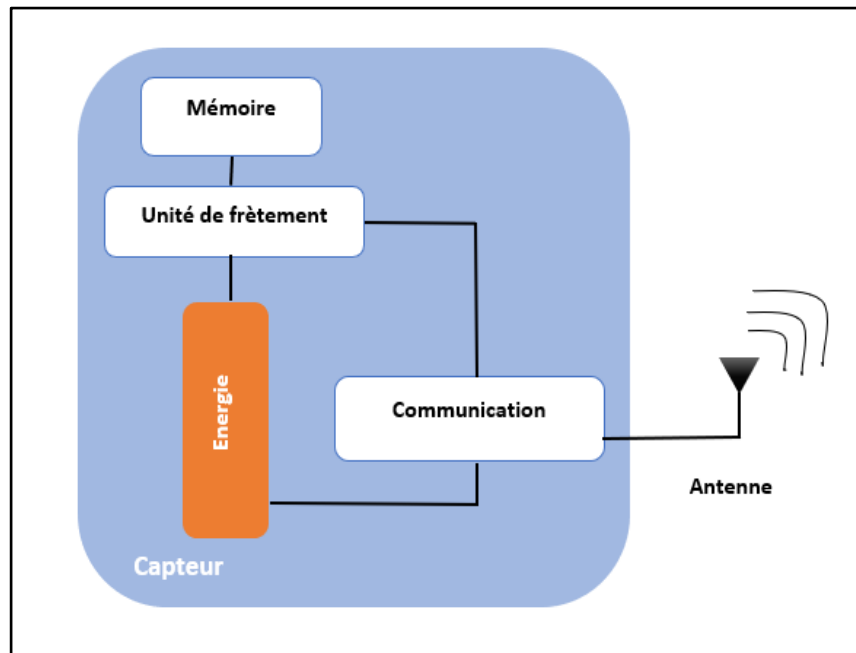


Figure 1.1 : Schéma Fonctionnel d'un capteur.

On peut alors classer les capteurs en deux catégories, les capteurs à contact qui nécessitent un contact direct avec l'objet à détecter et les capteurs de proximité. Chaque catégorie peut être subdivisée en trois catégories de capteurs : les capteurs mécaniques, électriques, pneumatiques. En fin nous dirons qu'un capteur permet l'analyse de l'environnement dans lequel il se trouve (car il effectue des relevés de mesures), cette analyse se fait quand le capteur transmet des informations aux autres capteurs se situant dans sa zone de couverture.

L'information va alors circuler en se propageant de capteur en capteur traversant ainsi plusieurs zones du réseau permettant d'assurer la couverture de ce dernier. [21]

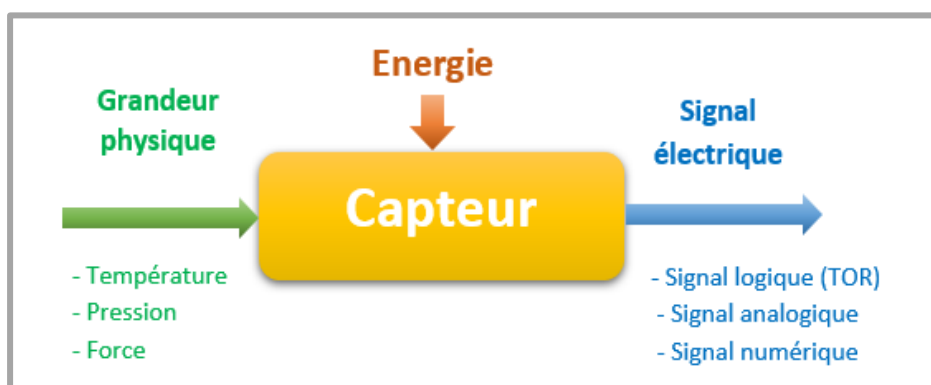


Figure 1.2 : Schéma représentatif du mécanisme de traduction d'un capteur.

2.2. Architecture d'un capteur :

Dans cette section, nous distinguons les deux parties qui composent un capteur :

2.2.1. Architecture matérielle :

Un capteur se compose de quatre unités de base qui se schématisent dans la figure Qui suit :

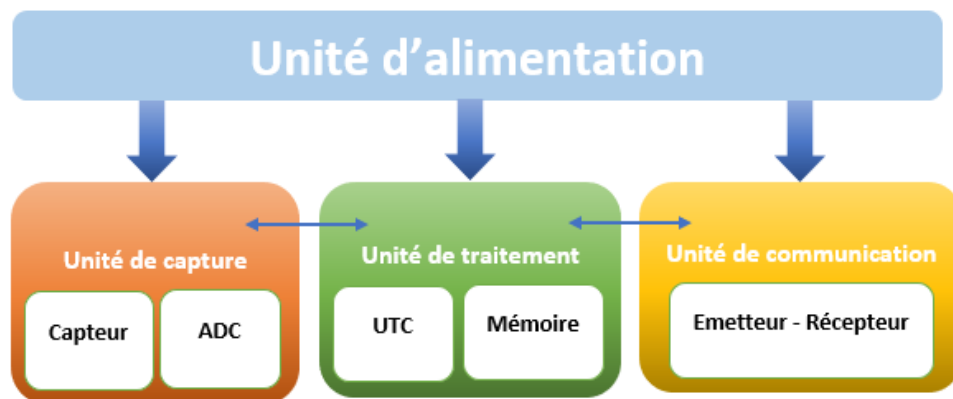


Figure 1.3 : Architecture d'un capteur sans fil.

○ L'unité de traitement :

C'est l'unité principale du capteur. Elle est généralement représentée par un processeur couplé à une mémoire vive. Se compose de deux interfaces une avec l'unité d'acquisition et l'autre avec l'unité de communication, son rôle est le contrôle du bon fonctionnement des autres unités ; un système d'exploitation nécessaire au fonctionnement du capteur peut y être embarqué sur certain modèle. [20]

Cette unité permet l'exécution de procédures de communication qui permettent la collaboration d'un nœud avec les autres nœuds du réseau ; elle permet aussi l'analyse des données récoltées afin d'alléger le travail du nœud puits.

○ L'unité d'acquisition :

Appelée aussi unité de captage, elle permet la mesure des grandeurs physiques ou analogiques et leur conversion en données numériques, elle se compose généralement de deux sous unités à s'avoir les capteurs et les ADCs (Analog Digital Converter). Le capteur est chargé

de récupérer les signaux analogiques qu'il transmet à l'ADC qui a pour rôle de transformer et de communiquer les données analogiques en données numériques compréhensibles pour l'unité de traitement. [20]

○ **L'unité de communication :**

Cette unité permet d'effectuer toutes les communications entre les différents nœuds sur un médium sans fil. Elle est équipée d'un couple émetteur/récepteur pour communiquer au sein du réseau. Il existe cependant d'autres possibilités de transmission (optique, infrarouge, etc...).[20]

○ **L'unité d'alimentation :**

C'est un élément primordial de l'architecture du capteur. Elle alimente les unités que nous avons citées et elle n'est généralement ni rechargeable ni remplaçable. La capacité d'énergie limitée au niveau des capteurs représente la contrainte principale lors de conception de protocoles pour les réseaux de capteurs.

Par ailleurs, un capteur peut être doté d'autres unités. Citons, entre autres, la possibilité d'ajouter une unité de localisation, tel qu'un GPS, une unité de mobilité pour assurer la mobilité du capteur, ou une unité spécifique de capture comme une caméra pour de l'acquisition vidéo.

2.2.2. Architecture Logicielle :

La contrainte énergétique des capteurs exige l'utilisation de systèmes d'exploitation légers tels que TinyOS ou Contiki. Cependant, TinyOS reste toujours le plus utilisé et le plus populaire dans le domaine des RCSF. Il est libre et est utilisé par une large communauté de scientifiques dans des Simulations pour le développement et le test des algorithmes et protocoles réseau. [2]

2.3. Types de capteurs :

Actuellement il existe différents types de capteurs circulant dans le marché, comportant des caractéristiques et des fonctionnalités diverses et variées. La plupart des capteurs dépendent de l'application pour lesquels ils ont été conçus (capteur aquatique, sous-terrain, etc...).

Les capteurs ont connu une évolution fulgurante au cours du temps, il est intéressant de voir cette évolution tout au long de ces vingt dernières années. Nous constatons qu'une entreprise est privilégiée et se distingue des autres c'est Xbow aussi appelé Crossbow. Est une entreprise incontournable dans la fabrication de capteurs, cette dernière a vu le jour au sein d'une prestigieuse université californienne à s'avoir l'université de Berkeley qui enregistre les travaux de recherche parmi les plus importants au monde.

Les capteurs fabriqués par Xbow au cours des dix dernières années (Famille de capteurs Mica et Telos entre autres) sont sans aucun doute les plus utilisés dans les expériences et travaux de recherches. Ces capteurs sont capables de mesurer plusieurs métriques (température, humidité, etc...) et s'articulent pour la plupart d'entre eux autour de Chipcon CC2420 qui est devenu le standard au niveau des modules de transmission utilisant le protocole de communication IEEE 802.15.4.

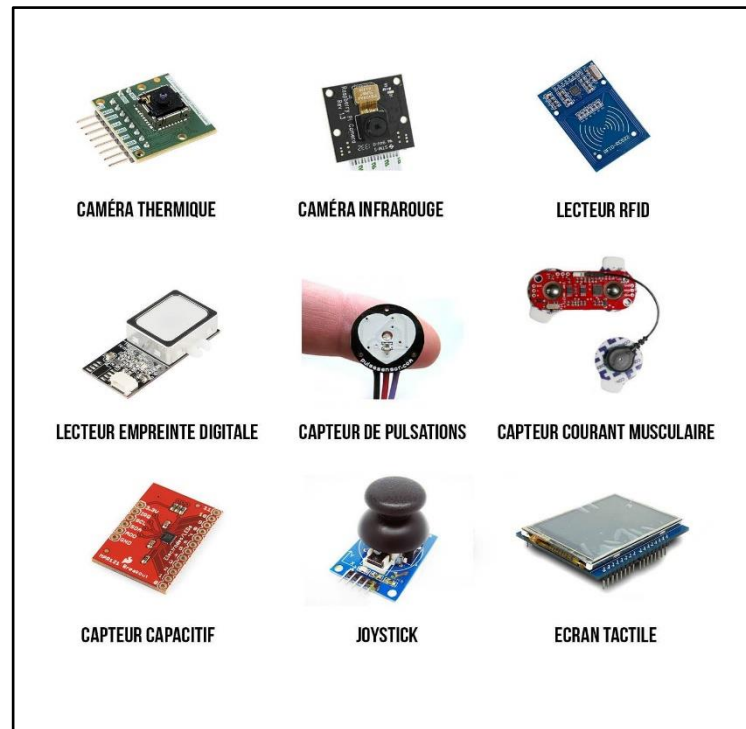


Figure 1.4 : Evolution des capteurs.

2.4. Caractéristiques d'un capteur :

Un capteur est doté des caractéristiques suivantes :

- Capte toujours.
- Capable de calculer.
- Capable de communiquer.
- Préposition / déploiement aléatoire.
- Limitation de la durée de vie des batteries.
- Densité (petit / grand nombre).
- La rapidité : c'est le temps de réaction d'un capteur entre la variation de la grandeur physique qu'il mesure et l'instant où l'information est prise en compte par la partie commande.

- L'étendue de la mesure : c'est la différence entre le plus petit signal détecté et le Plus grand perceptible sans risque de destruction pour le capteur.
- La sensibilité : c'est la plus petite variation d'une grandeur physique que peut Détecter un capteur. [17]

3. Réseaux de capteurs sans fil (RCSF) :

3.1. Définition :

Un RCSF est un acronyme pour réseau de capteurs sans fil ou WSN : Wireless Sensor Network, souvent apparenté au réseau ad-hoc de leur utilisation commune des ondes radio, ainsi que leurs architectures décentralisées, les RCSF sont aussi considérés comme leurs successeurs.

Les RCSF sont des systèmes embarqués, ils se composent d'un ensemble d'unités de traitement embarqué appelé « motes » qui communiquent à travers des liens sans fil, le déploiement de plusieurs unités se fait dans le but de collecter ou de capter des données (de type sonores, vibrations, lumière...) et de les transmettre.

Grace aux récentes avancées technologiques le développement de très petits capteurs à faible cout et consommant peu d'énergie a pu être réalisé.

Afin de mieux cerner les réseaux de ces capteurs sans fil la figure qui suit représente leur mode de fonctionnement global.

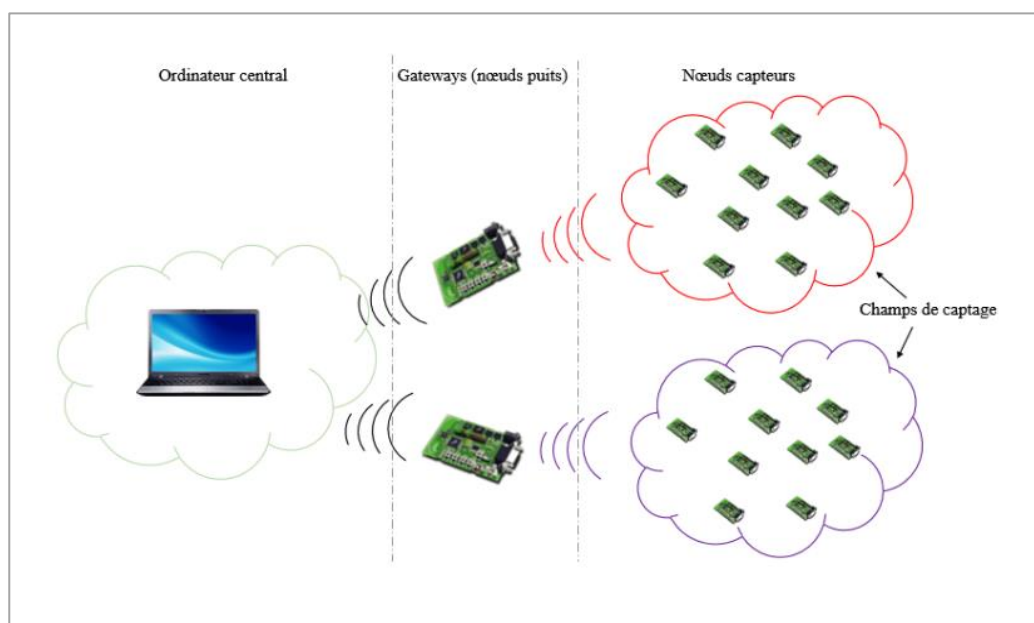


Figure 1.5 : Architecture d'un réseau de capteurs sans fil.

3.2. Description des réseaux de capteurs sans fil (RCSF) :

Un Réseau de Capteurs Sans Fil (RCSF) est un type particulier de réseaux mobiles ad hoc MANETs². Est composé d'un ensemble de nœuds capteurs. Ces nœuds capteurs sont Organisés en champs « Sensor Fields ». Chacun de ces nœuds à la capacité de Collecter des données et de les transférer au nœud passerelle (dit "sink" en anglais ou puits) Par l'intermédiaire d'une architecture multi-sauts. Le puits transmet ensuite ces données par Internet ou par satellite à l'ordinateur central « Gestionnaire de taches » pour analyser ces Donner et prendre des décisions.

3.3. Architectures d'un réseau de capteurs sans fil :

L'architecture habituelle des réseaux de capteurs sans fils. Ils sont construits autour des quatre principales entités suivantes :

- **Le capteur (Sensor).**
- **L'agrégateurs (aggrégator) :** Il est en charge d'agréger les messages qu'il reçoit de plusieurs capteurs puis de les envoyer en un seul message au puits (sink). Cette opération a pour principal but de limiter le trafic sur le réseau et donc de prolonger la durée de vie globale du réseau de capteur. Il correspond généralement à la tête d'une grappe (Cluster Head). L'utilisation de grappes offre de nombreux intérêts à tous les niveaux, notamment pour le routage.
- **Le puits (sink) :** Le puits est le nœud final du réseau. C'est à lui qu'est envoyé l'ensemble des valeurs mesurées par le réseau. Il peut arriver qu'il y'ait plusieurs puits sur un même réseau de capteurs.
- **La passerelle (Gateway) :** La passerelle est un dispositif qui a la particularité d'avoir deux Interfaces réseau. Il Permet de relier le réseau de capteurs sans fils à un réseau plus traditionnel, typiquement l'internet. En effet, habituellement le réseau de capteurs ne sert qu'à faire remonter les mesures, les applications traitant ces informations étant exécutées sur la machine de l'utilisateur final. Le fonctionnement global de cette architecture consiste donc à ce que les capteurs fassent des mesures qu'ils font remonter au puits via les agrégateurs. L'application finale tournant sur une machine se situant sur un autre réseau a ainsi accès aux valeurs via une passerelle. A noter que les agrégateurs sont facultatifs, et que le puits et la passerelle sont généralement localisés dans un seul dispositif.

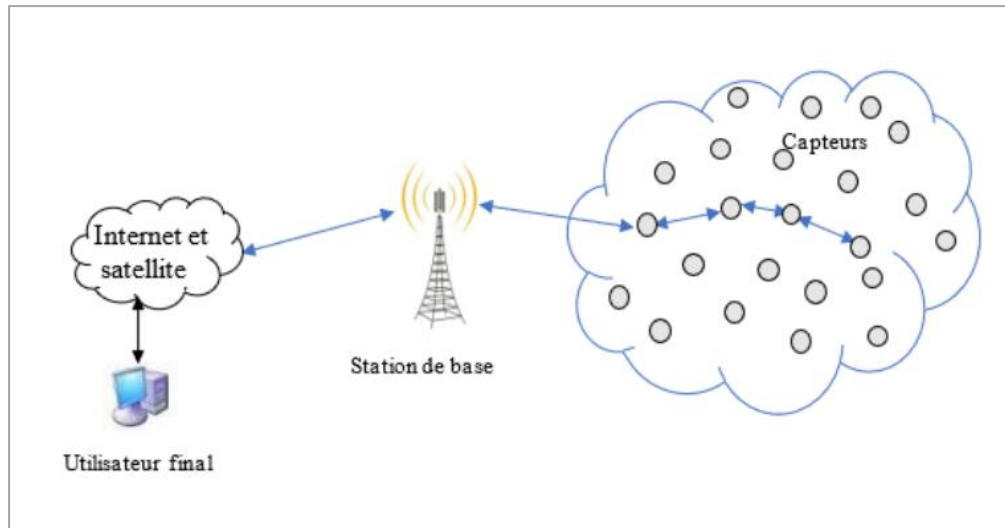


Figure 1.6 : Architecture de communication dans les RCSF.

3.4. Contraintes de conception des RCSF :

La conception et la réalisation des réseaux de capteurs sans fil sont influencées par plusieurs paramètres. Ces facteurs servent comme directives pour le développement des algorithmes et protocoles utilisés dans les RCSF.

3.4.1. Durée de vie du réseau :

C'est l'intervalle de temps qui sépare l'instant de déploiement du réseau de l'instant où l'énergie du premier nœud s'épuise. Selon l'application, la durée de vie exigée pour un réseau peut varier entre quelques heures et plusieurs années. [19]

3.4.2. Ressources limitées :

En plus de l'énergie, les nœuds capteurs ont aussi une capacité de traitement et de mémoire limitée. En effet, les industriels veulent mettre en œuvre des capteurs simples, petits et peu coûteux. [19]

3.4.3. Bande passante limitée :

Afin de minimiser l'énergie consommée lors de transfert de données entre les nœuds, les capteurs opèrent à bas débit. Typiquement, le débit utilisé est de quelques dizaines de Kb/s. Un débit de transmission réduit n'est pas handicapant pour un réseau de capteurs où les fréquences de transmission ne sont pas importantes. [19]

3.4.4. Facteur d'échelle :

Le nombre de nœuds de capteurs augmente sur un réseau sans fil et ce nombre peut atteindre le million. Un nombre aussi important de nœuds engendre beaucoup de transmissions entre les nœuds et peut imposer des difficultés pour le transfert de données. [6]

3.4.5. Topologie dynamique :

La topologie des réseaux de capteurs peut changer au cours du temps pour les raisons suivantes :

- Les nœuds capteurs peuvent être déployés dans des environnements hostiles (champ de bataille par exemple), la défaillance d'un nœud capteur est, donc très probable.
- Un nœud capteur peut devenir non opérationnel à cause de l'expiration de son énergie.
- Dans certaines applications, les nœuds capteurs et les stations de base sont mobiles. [19]

3.4.6. Agrégation de donnée :

Dans les réseaux de capteurs, les données produites par les nœuds capteurs voisins sont très corrélées spatialement et temporellement. Ceci peut engendrer la réception par la station de base d'informations redondantes. Réduire la quantité d'informations redondantes transmises par les capteurs permet de réduire la consommation d'énergie dans le réseau et ainsi d'améliorer sa durée de vie. L'une des techniques utilisées pour réduire la transmission d'informations redondantes est l'agrégation des données. Avec cette technique, les nœuds intermédiaires agrègent l'information reçue de plusieurs sources. Cette technique est connue aussi sous le nom de fusion de données.[16]

1.6.5 Les coûts de production :

Un réseau de capteurs sans fil est souvent composé d'un nombre important de nœuds et leur prix est important. Pour des raisons économiques, le prix unitaire doit être faible afin d'assurer un coût de production global raisonnable et pouvoir ainsi concurrencer un réseau de surveillance traditionnel. De nos jours, un nœud ne coûte souvent pas beaucoup plus que 1\$. A titre de comparaison, un nœud Bluetooth, pourtant déjà connu pour être un système low-cost, revient à environ 10\$. [30]

3.5. Application des RCSF :

Les réseaux de capteurs peuvent être programmés à un grand nombre de fins, telles que le contrôle d'intrusion, le calcul de température, le calcul de changement climatique, la surveillance des déplacements d'animaux (avec récepteurs GPS), surveillance de malades, ... Les cas d'application étant fort nombreux nous citerons à titre d'exemple :

- **Découvertes de catastrophes naturelles** : On peut créer un réseau autonome en dispersant des nœuds dans la nature. Des capteurs peuvent ainsi signaler des événements tels que les feux de forêts, les tempêtes ou les inondations. Ceci permet une intervention des secours beaucoup plus rapide et efficace.
- **Détection d'intrusions** : En plaçant, à différents points stratégiques, des capteurs, on peut ainsi prévenir des cambriolages ou des passages de gibier sur une voie de chemin de fer par exemple sans avoir à recourir à de coûteux dispositifs de surveillance vidéo
- **Applications militaires** : Les RCSF permettent la détection des mouvements ennemis sur un champ de bataille ou bien de tracer leurs mouvements. De façon analogue, ils peuvent permettre la détection d'intrusion ou de cambriolage dans le domaine de la sécurité civile.
- **Applications métiers** : On pourrait stocker des entrées nécessitant un certain taux d'humidité et une certaine température (min ou max). Dans ces applications, le réseau doit pouvoir collecter ces différentes informations et alerter en temps réel si les seuils critiques sont dépassés
- **Contrôle de la pollution** : On pourrait disperser des capteurs au-dessus d'un emplacement industriel pour détecter et contrôler des fuites de gaz ou de produits chimiques.
- **Application médicale** : La recherche sur l'usage des capteurs intelligents dans le domaine médical inclut les moyens d'hospitalisation à domicile, l'intégration des micro-capteurs "dans" le corps (e.g. construire un BAN-Body Area Network) et la gestion des urgences. Sachant que les applications concernant le domaine médical évoluent à une vitesse fulgurante. C'est ainsi que parmi les nouvelles venues on peut citer la télésurveillance des signes vitaux et des niveaux d'activité à domicile des personnes âgées ou handicapées ; le déploiement de micro-capteurs sur le corps humain ou éventuellement implantés permet une surveillance permanente des constantes vitales d'un patient.

- **Agriculture** : L'implantation de nœuds dans la terre peut nous permettre d'avoir des informations concernant les endroits les plus secs et ceci pour les arroser en priorité, ces données seront obtenues en questionnant le réseau de capteurs sans fil. Doté le bétail de capteurs facilitera leurs Localisation à toute heure, ce qui facilitera la vie aux éleveurs.
- **Applications de transport** : Les RCSF permettent la surveillance des réseaux ferroviaires ou routiers ainsi que d'éventuelles intrusions.
- **Applications domestiques** : En plaçant, sur le plafond ou dans le mur, des capteurs, on peut économiser l'énergie en gérant l'éclairage ou le chauffage en fonction de la localisation des personnes.

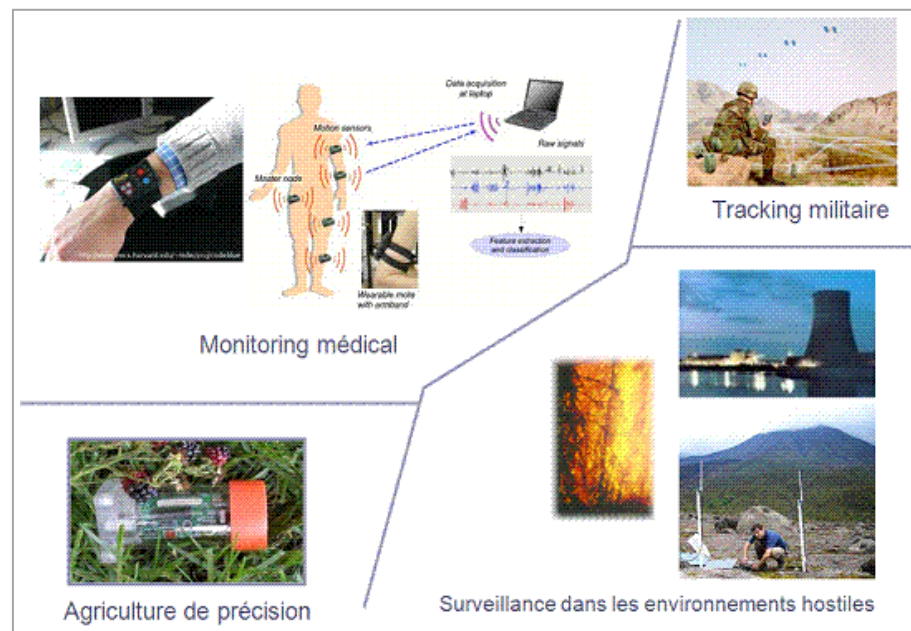


Figure 1.7 : Quelques domaines d'application pour les RCSF.

3.6. Caractéristique des RCSF :

Par ailleurs les caractéristiques essentielles des RCSF s'établissent comme suit :

- **Scalabilité et adaptabilité** : Importance des nombres de nœuds qui peut parfois atteindre des millions en vue d'une meilleure granularité de surveillance, avec une polyvalence de remplacement en cas de défaillance.
- **Caractéristiques du trafic interrompu** : L'accès sans fil est perturbé pas les interférences inévitables au sein d'un RCSF (Exp : perturbation des liens radio dans un hôpital).

- **Réseaux multi-sauts** : Les RCSF adoptent des communications multi saut en raison des limitations des ressources physiques dues à la miniaturisation des composants électroniques
- **Réduction de la consommation de l'énergie** : La gestion de l'énergie au sein d'un RCSF est limitée du fait que les capteurs sont alimentés par des batteries qui ne peuvent être changées par suite des milieux hostiles défavorables (sachant que le rechargement des batteries est très onéreux et donc très peu rentable d'un point de vue économique).
- **Différents types de déploiements** : Engendrent des conséquences qui diffèrent d'un déploiement à un autre :
 - Le déploiement dans la nature mène à une absence de sécurité physique causée par la présence d'intrus ou de capture de nœuds.
 - Le déploiement dans un lieu précis exige une topologie préconfigurée.

4. Conclusion :

Les réseaux de capteurs sans fil présentent un intérêt considérable et une nouvelle étape dans l'évolution des technologies de l'information et de la communication. Cette nouvelle technologie suscite un intérêt croissant vu la diversité de ces applications : santé, environnement, industrie et même dans le domaine sportif.

En parcourant ce chapitre nous noterons une large présentation des réseaux de capteurs sans fil tant dans leurs diversités que dans leurs modes de fonctionnement, ceci se clarifie après étude de leurs caractéristiques et leurs spécificités. Des détails concernant les capteurs ainsi que leurs domaines d'utilisation ont aussi été évoqués au cours de ce chapitre.

Chapitre II : Les méthodes d'accès aux médias et les protocoles de routage dans les RCSFs

Parte 01 : les méthodes d'accès aux media :

1. Introduction :

De nos jours le partage du spectre et le partage temporel des ressources font partie intégrante du dimensionnement du réseau. Ces partages résultent de procédés de multiplexage qui consistent à combiner plusieurs signaux pour les transmettre sur un même support. La technique d'accès multiple par répartition de code ou Code Division Multiple Access (CDMA) est déjà largement utilisée dans le domaine radio-fréquence où elle apporte un accès multiple et un partage des ressources.

Ce partie traite de l'ensemble des techniques d'accès multiple applicables au domaine des communications numériques sur radiofréquences. Il décrit aussi les différentes techniques CDMA, qu'elles soient 'classiques' ou 'hybrides', afin de mieux comprendre les enjeux et les difficultés rencontrées pour la mise en place de chacune de ces méthodes d'accès.

2. Accès multiple par répartition de fréquences (FDMA) :

L'Accès Multiple par Répartition de Fréquences (AMRF), appelé aussi Frequency Division Multiple Access (FDMA), est une technique de multiplexage largement utilisée dans les systèmes de communications radiofréquences. [11]

La bande passante est divisée en sous bandes ; chaque sous bande est associée à une fréquence porteuse utilisée par un émetteur. Cet émetteur doit envoyer continûment sur une fréquence particulière et le canal est l'ensemble des différentes fréquences porteuses venant des différents émetteurs. Le récepteur choisit la porteuse appropriée pour ainsi lire les données qui leur sont destinées [15]. Un canal supporte 1 seul utilisateur, Utilisé dans les systèmes 1G (analogique), Si un canal FDMA n'est pas utilisé par son utilisateur assigné, il reste idle. ==> perte de ressources.

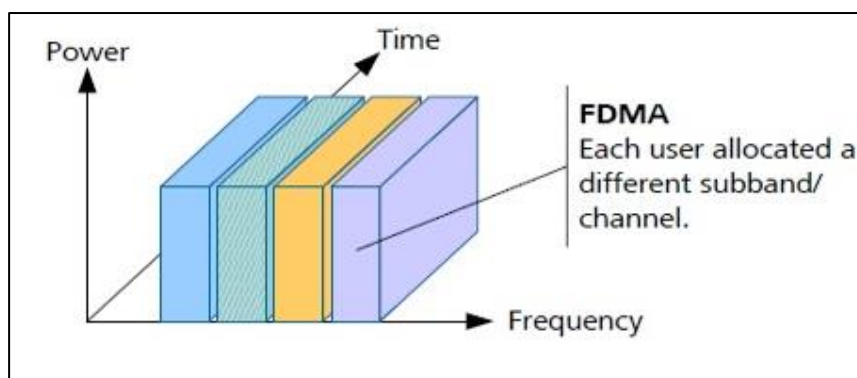


Figure 2.1 : Technique d'accès FDMA.

Le FDMA consiste à transmettre les signaux provenant de N utilisateurs différents sur des bandes de fréquences distinctes. La figure (2.2) donne un exemple de la manière dont ce multiplexage peut s'effectuer. Comme le montre la figure (2.2 -a), un filtre passe-bas est utilisé au niveau de l'émetteur afin de s'assurer que la bande passante du message à transmettre est limitée à une largeur définie au préalable. Chaque signal module une porteuse différente dont la fréquence est fixée par le synthétiseur. Les signaux issus des N modulateurs sont superposés et transmis par le canal. En réception, les porteuses sont séparées par des filtres passe-bande placés en parallèle et centrés sur les fréquences porteuses des messages à détecter. La largeur de ces filtres est déterminée afin de ne pas tronquer le spectre du signal. A la sortie du filtre passe-bande, le signal est démodulé et traverse un filtre passe-bas permettant d'écartier les composantes indésirables et de récupérer le message en bande de base. [14]

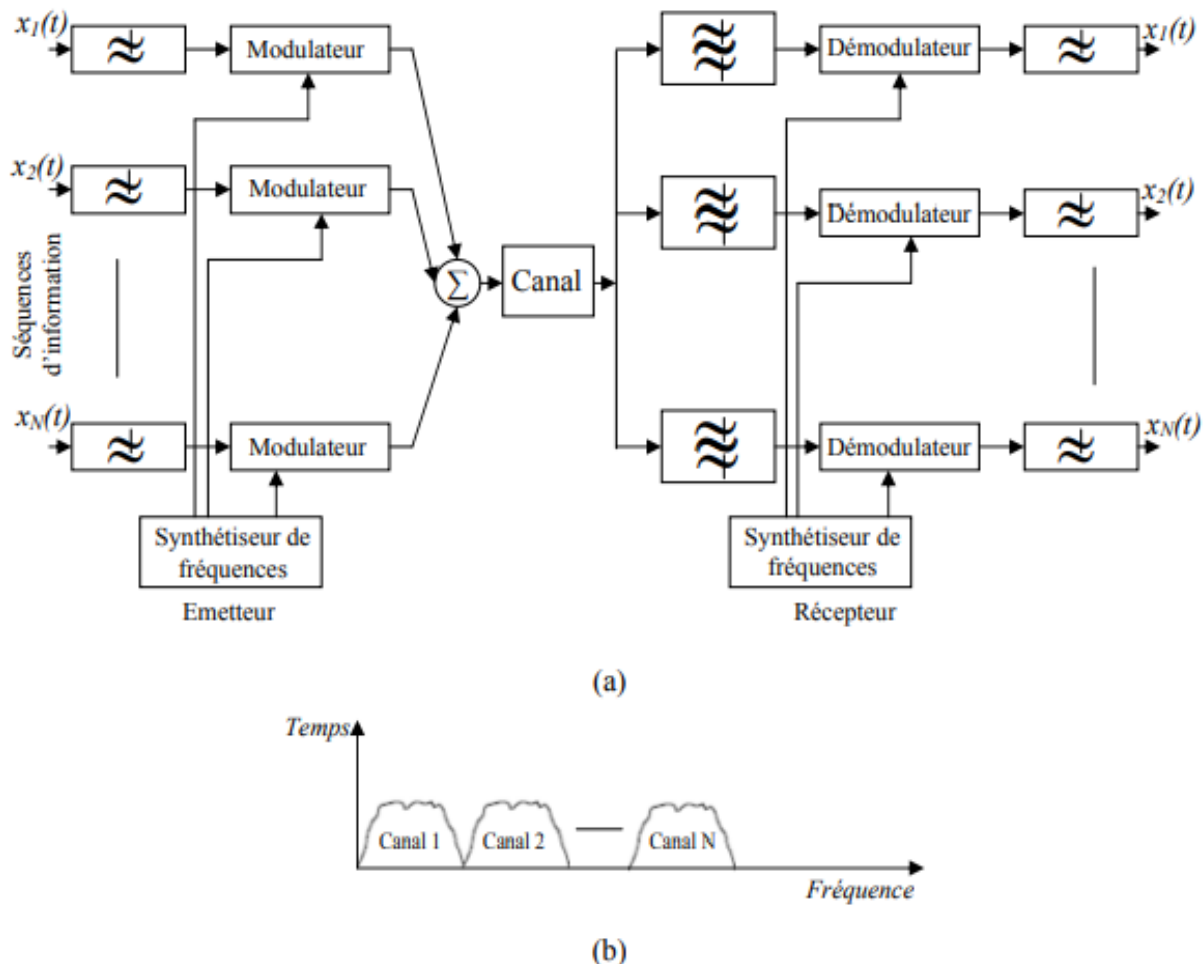


Figure 2.2 : Schéma d'un multiplexage en fréquence (FDMA).

3. Accès multiple par répartition dans le temps (TDMA) :

TDMA est une technique d'accès multiple par répartition dans le temps, dans cette technique, la bande passante est utilisée par tous les utilisateurs mais la division se fait sur l'axe de temps. Chaque utilisateur envoie sur un intervalle de temps et en utilisant toute la bande passante. Les données envoyées par chaque utilisateur sont groupées en rafales pour être envoyées sur des intervalles de temps appelés slots. Le canal se comporte donc comme la succession des slots remplis par des rafales venant des différents utilisateurs. Si la durée d'un slot est T_s , le canal peut contenir n slots ; on appelle trame l'ensemble des n slots du canal. La durée d'une trame est alors de $T_f = n \times T_s$. La figure 2.4 représente la technique d'accès TDMA. Le récepteur doit identifier chaque paquet dans un slot afin de lire les informations qui lui sont destinées. Ceci nécessite des informations d'identification du début d'un paquet ainsi qu'une synchronisation. [15]

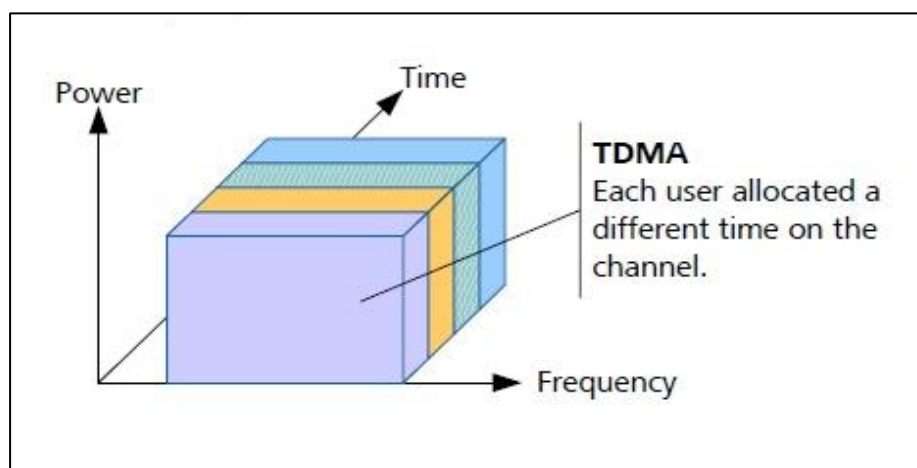


Figure 2.3 : Technique d'accès TDMA.

4. Accès multiple par répartition de codes ou "Code Division Multiple accès (CDMA)" :

L'accès Multiple par Répartition de Codes (AMRC), appelé aussi Code Division Multiple Access (CDMA) c'est une méthode basée sur la répartition par codes, est une technique de multiplexage plus récente que le TDMA et le FDMA. Dans cette technique, chaque utilisateur transmet ses informations sur le canal continûment et en utilisant toute la bande passante. Ceci veut dire qu'il y a interférence entre les différents utilisateurs, mais chaque utilisateur envoie sa propre signature avec ses informations. Cette signature est appelée code et elle est combinée avec les informations utiles avant de tout transmettre.

Un émetteur choisit son propre code d'un ensemble des codes caractérisés par les propriétés suivantes :

- Chaque code doit être facilement distingué de sa répétition dans le temps.
- Chaque code doit être facilement distingué des autres codes utilisés dans le réseau.
- Les différents codes sont pseudo-orthogonaux Dans cette technique

La réduction des IAM n'est obtenue que dans le cas de l'utilisation de séquences de codes strictement orthogonaux. La Figure (11) schématise la répartition des utilisateurs sur la bande de fréquence et dans le temps en fonction de la distribution des séquences de codes. [15]

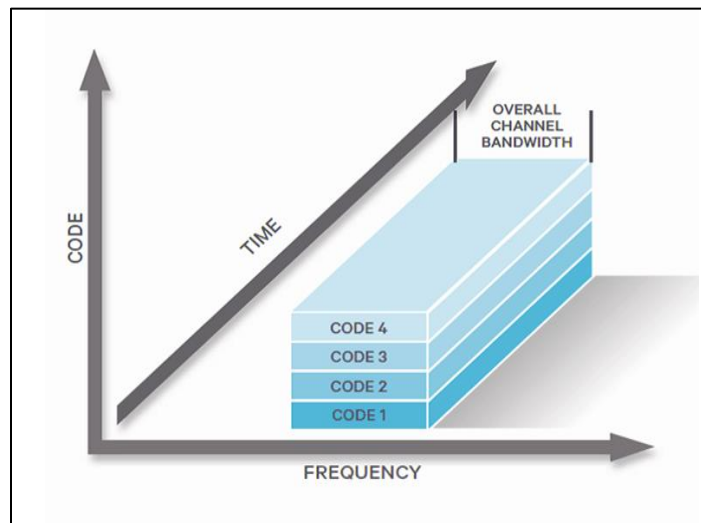


Figure 2.4 : Schéma d'un multiplexage par code (CDMA).

Le CDMA permet aux différents utilisateurs de transmettre leurs données sur n'importe quelle fréquence et sans nécessiter de synchronisation entre eux. En effet, contrairement aux techniques TDMA, FDMA, la capacité de multiplexage du CDMA n'est pas limitée par des paramètres physiques (intervalles de temps disponibles, fréquences ou longueurs d'ondes utilisables ... etc.) mais par la capacité à générer un maximum de séquences de codes, celles-ci étant choisies de manière à minimiser les Interférences d'accès Multiple (IAM).

Les séquences de codes utilisées dans les systèmes CDMA sont composées d'une série d'impulsions nommées "chips" afin d'être distinguées des "bits" qui composent une séquence de données.

L'étalement de spectre est un des avantages mis en avant pour l'utilisation du CDMA dans le domaine des communications radiofréquences. En effet, la puissance d'un signal, après codage, est étalée sur toute la largeur de la bande de fréquence disponible. De ce fait deux caractéristiques importantes apparaissent :

- La puissance du signal étant étalée sur la bande spectrale disponible, le signal CDMA peut être confondu avec le bruit du canal et sera donc difficilement détectable par un utilisateur non concerné.
- Le signal CDMA étalé est plus résistant aux évanouissements sélectifs en fréquence.
- Le signal CDMA (après codage) est plus résistant aux brouilleurs pouvant se présenter au cours de la transmission. Lors du décodage, la puissance de ce brouilleur est étalée sur la bande spectrale disponible alors que le signal utile est reconstitué. Toutefois, si le nombre de brouilleurs est important, la puissance générée par ces derniers sera plus importante et affectera la qualité du signal utile obtenu après décodage.

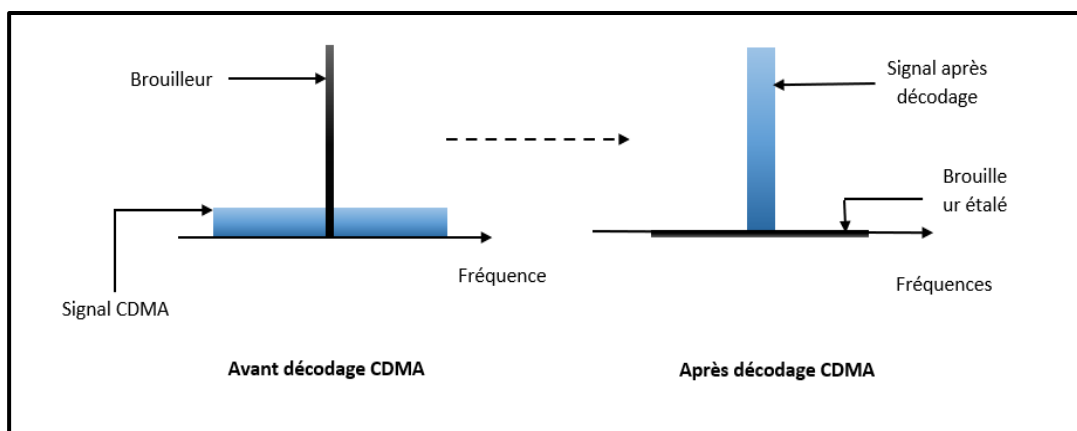


Figure 2.5 : Effet de l'étalement de spectre sur la présence d'un brouilleur.

La résistance aux brouilleurs, due à l'étalement de spectre, ne représente pas un avantage particulier pour les systèmes optiques qui ne sont pas soumis à ce genre d'interférences. [14]

4.1. Système CDMA à créneaux-horaires :

Nous considérons les liaisons inverses d'un système CDMA cellulaire qui prend en charge les transmissions de paquets dans des créneaux. Dans un tel système, chaque MU utilise un code d'étalement spécifique à l'utilisateur pour la transmission. La structure trame/tranche du système est illustrée sur la figure 13, où S , T_f et T_s désignent le nombre de tranches par trame, la durée de chaque trame et la durée de chaque tranche, respectivement. Soit W la bande passante à spectre étalé du canal radio. Dans ce système à créneaux temporels, les débits de transmission dans chaque créneau sont contrôlés et les émetteurs sont supposés être capables de transmettre différents débits dans différents créneaux. [7]

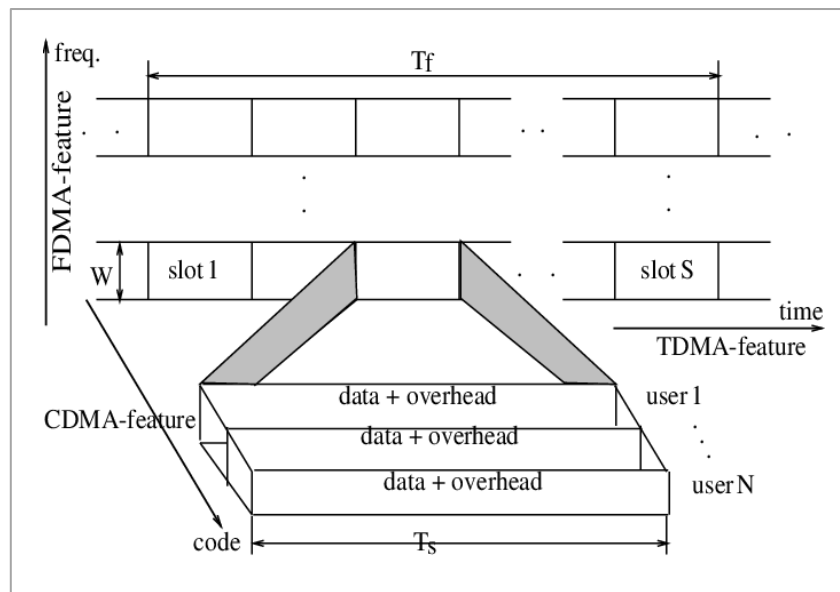


Figure 2.6 : Structure trame/fente d'un système CDMA.

4.2. CDMA synchrone :

- Synchronisation est essentielle pour garantir l'orthogonalité des codes.
- Ce n'est pas possible d'avoir des codes orthogonaux pour des utilisateurs asynchrones.
- La synchronisation est possible en utilisant une horloge commune : le GPS.
- En downlink c'est facile de synchroniser entre les diffs réceptrices puisqu'il y a un seul émetteur.
- En uplink c'est difficile \Rightarrow on utilise CDMA asynchrone.

- CDMA synchrone utilise les Walsh fonctions (utilisé en 2G et 3G).
- Les fonctions Walsh peuvent être énuméré selon leur nb de passage à 0.
- Les Walsh codes sont orthogonaux deux à deux. [12]

4.3. CDMA asynchrone :

- En Uplink, chaque abonnée transmet des informations indépendamment des autres abonnées. C'est une transmission asynchrone
- Les codes assignés à chaque utilisateur doivent avoir une intercorrélacion faible entre eux indépendamment de leurs retards relatifs
- Les codes Gold sont utilisés
- Codes gold ont une mauvaise autocorrélacion par-rapport aux m-séquence ; mais meilleure intercorrélacion Gold est construit par addition de 2 m-séquences. [12]

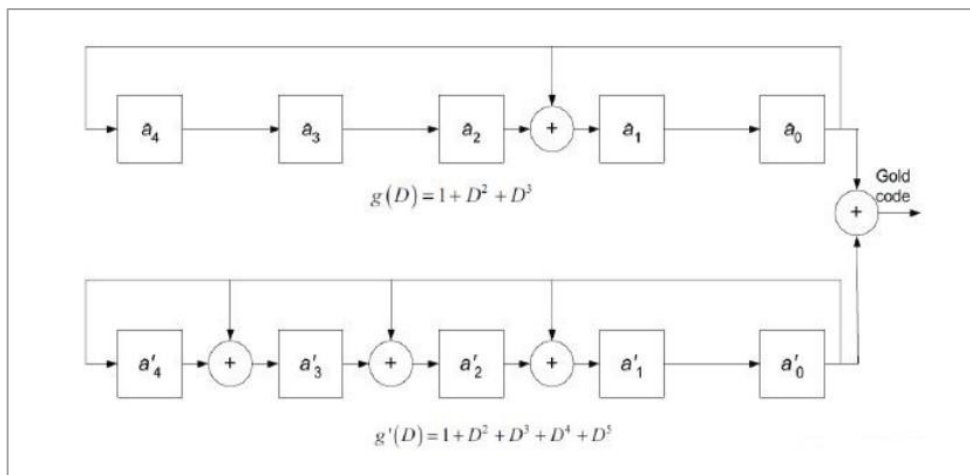


Figure 2.7 : diagram of asynchronous CDMA system.

4.4. Accès multiple par répartition de codes à saut de fréquence :

Dans un système d'étalement de spectre par saut de fréquence (FH-CDMA), les "chips" qui composent la séquence de code associée à chaque utilisateur, sont émis à des fréquences différentes, le choix de ces fréquences pouvant se faire de manière aléatoire.

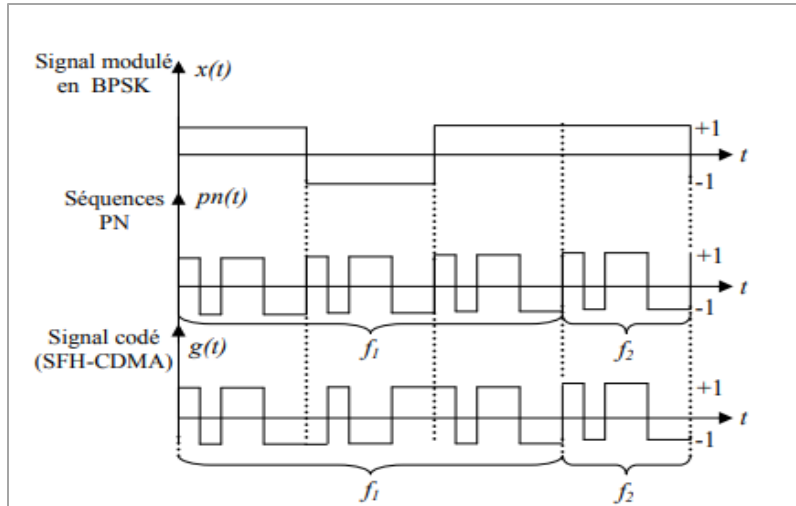


Figure 2.8 : Schéma d'un codage CDMA à saut de fréquence lent (SFH-CDMA).

Comme le montre les figures (2.8, 2.9), un signal $x(t)$ est toujours codé par une séquence pseudo aléatoire $pn(t)$, mais les chips de cette séquence sont émises à des fréquences différentes f_1, f_2, \dots, f_n . Le signal $g(t)$ qui en résulte sera, par conséquent, composé de chips se situant à des fréquences distinctes. Le modèle de saut de fréquence est dit "lent" (SFH-CDMA : Slow Frequency Hopping-CDMA) Figure 2.8) lorsque plusieurs séquences de codes sont émises à la même fréquence, le changement de fréquence ne s'effectuant qu'après plusieurs bits de données transmis. Le modèle de saut de fréquence est dit "rapide" (FFH-CDMA : Fast Frequency Hopping-CDMA) lorsque l'émission des chips d'un même code se fait sur plusieurs fréquences, comme le montre la figure (2.9). [11]

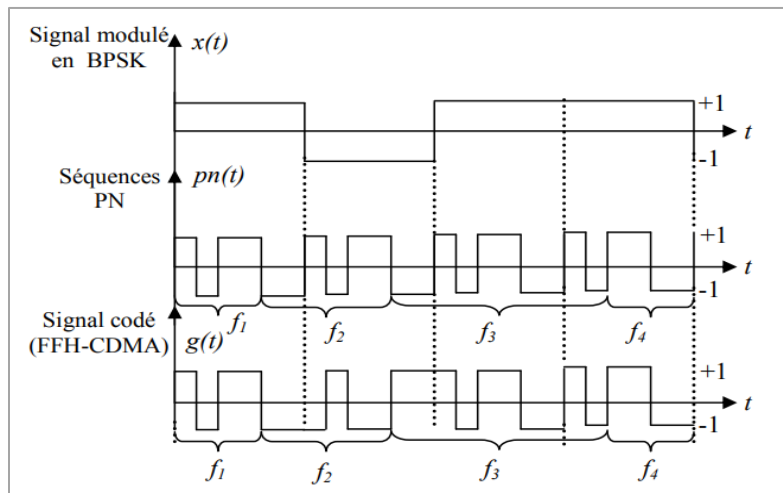


Figure 2.9 : Schéma d'un codage CDMA à saut de fréquence rapide (FFH-CDMA).

4.5. Accès multiple par répartition de code à séquences directes :

Dans le CDMA à séquence directe (DS-CDMA), les données associées à un utilisateur sont modulées en phase, en fréquence ou en amplitude. Le signal résultant est par la suite codé par une séquence de code, par exemple une séquence pseudo aléatoire, puis superposé aux autres signaux traités de la même manière.

Comme le montre la figure (2.10), un signal binaire modulé en phase BPSK (Binary Phase Shift Keying) $x(t)$ est codé par une séquence pseudo-aléatoire ou Pseudo Noise (PN) $pn(t)$. Le résultat de ce codage est représenté par le signal $g(t)$. Ce dernier est superposé aux autres signaux provenant des autres émetteurs et ayant subi un traitement similaire et est transporté par le canal de transmission. Le codage des données s'effectue donc de manière "directe", sans faire intervenir d'autres paramètres comme la fréquence ou la longueur d'onde.

Il est, bien sûr, tout à fait possible de coder les données avant d'appliquer la modulation, d'amplitude, de phase ou de fréquence souhaitée. [11]

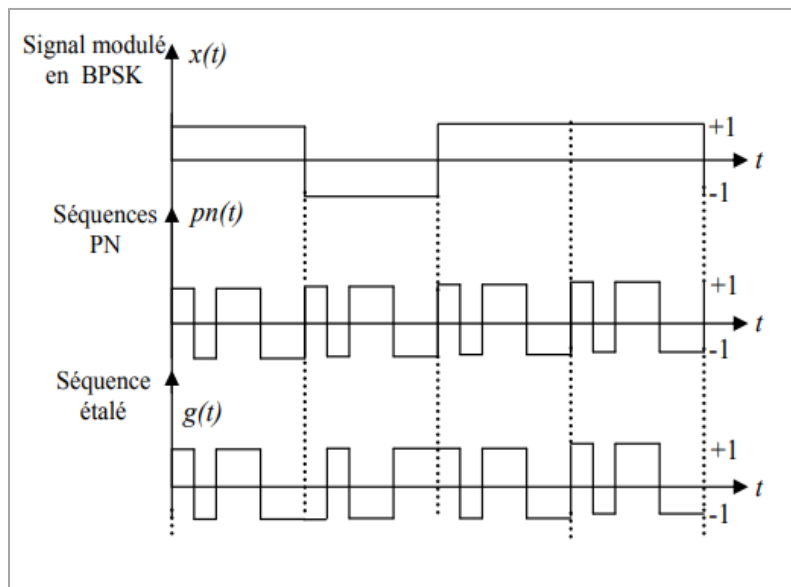


Figure 2.10 : Schéma d'un codage CDMA par séquence directe (DS-CDMA).

Part 2 : les protocoles de routage dans les réseaux de capteurs sans fil :

1. Introduction :

Les protocoles de routage jouent un rôle déterminant et crucial dans la conception des RCSFs, et sont influencés par un facteur déterminant à savoir la consommation d'énergie sans perte d'efficacité.

Les protocoles de routage pour les réseaux de capteurs sans fil ont été largement étudiés, et différentes études ont été publiées. Ces protocoles doivent garantir l'acheminement de l'information entre tout nœud du réseau et la station de base à moindre coût en termes d'énergie, le choix du chemin à prendre se fait selon certains critères de performance tels que la consommation en énergie, la fiabilité, le délai de transmission...etc. Dans les réseaux de capteurs, chaque nœud joue le rôle de source et de relais. De ce fait, la défaillance énergétique d'un capteur peut changer significativement la topologie du réseau donc il faut minimiser les dépenses énergétiques, car l'énergie est une contrainte clé dans les réseaux de capteurs.

2. Les critères de performance des protocoles de routage RCSF :

La performance des réseaux de capteurs sans-fil est fondée sur les facteurs suivants [3] :

- **Facteur d'échelle** : Le nombre de nœuds déployés pour une application peut atteindre des milliers. Dans ce cas, le réseau doit fonctionner avec des densités de capteurs très grandes. Un nombre aussi important de nœuds engendre beaucoup de transmissions inter-cluster et nécessite que la station de base soit équipée de mémoire suffisante pour stocker les informations reçues
- **L'énergie** : chaque nœud utilise peu d'énergie pour des activités telles que la détection, le traitement, le stockage et la transmission. Un nœud dans le réseau doit savoir combien d'énergie sera utilisée pour effectuer une nouvelle tâche à laquelle il est soumis. L'énergie consommée peut varier selon le type de fonctionnalité ou l'activité qu'il a à accomplir.
- **Le temps de traitement** : il se réfère au temps pris par le nœud dans le réseau pour assurer l'ensemble de l'opération commençant par la détection, le traitement des données ou le stockage de données, la transmission ou la réception sur le réseau.

- **Le schéma de transmission** : la transmission de données par les nœuds de capteurs vers la destination ou la station de base se fait par un schéma de routage à un seul saut ou à multi-saut.
- **Synchronisation** : dans les communications radio entre les nœuds d'un RCSF, les capteurs écoutent en permanence les transmissions et consomment de l'énergie s'ils ne sont pas synchronisés les uns les autres. Pour cela, un nœud doit avoir la même notion de temps pour se mettre en veille et se réveiller que ses voisins.
- **Contrôle de paquets** : un paquet envoyé avant la transmission entre deux nœuds est appelé le paquet de contrôle. Le paquet de contrôle contient le nombre de bits de données envoyés, l'adresse du nœud de destination et certaines informations qui contribuent à éviter les collisions pendant la transmission.

3. Classification des protocoles de routage dans les RCSF

Récemment, les protocoles de routage pour les RCSF ont été largement étudiés, et différentes études ont été publiées. Les méthodes employées peuvent être classifiées suivant plusieurs critères comme illustré sur la figure suivante :

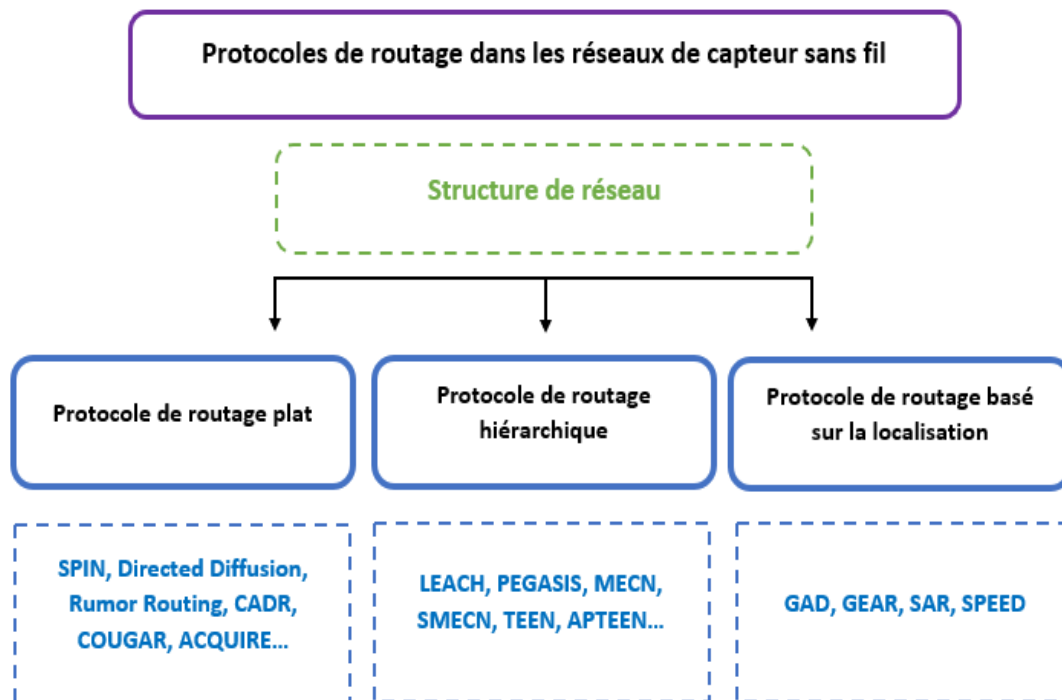


Figure 2.11 : Classification des protocoles de routage dans les RCSF.

4. Selon la structure du réseau :

Le routage dans les réseaux de capteurs sans fil se classe généralement en :

4.1. Protocoles de routage plat :

Les protocoles à topologie plate (flat) considèrent que tous les nœuds sont égaux, ont les mêmes fonctions, et peuvent communiquer entre eux sans devoir passer par un nœud particulier ou une passerelle. Seul un nœud particulier, le Sink, est chargé de la collecte des données issues des différents nœuds capteurs afin de les transmettre vers les centres de traitement. [1]

Les réseaux plats sont caractérisés par : la simplicité des protocoles de routage, un coût de maintien réduit, une grande tolérance aux pannes ainsi qu'une habilité à construire de nouveaux chemins suite aux changements de topologie. Cependant, Les nœuds proches du puits participent plus que les autres aux tâches de routage. En cas où la destination ne fait pas partie du voisinage de la source, les données seront transmises en utilisant les sauts multiples à travers les nœuds intermédiaires. De plus, ces réseaux présentent une faible scalabilité dû au fonctionnement identique des nœuds et d'une manière distribuée nécessitant ainsi un grand nombre de messages de Contrôle.

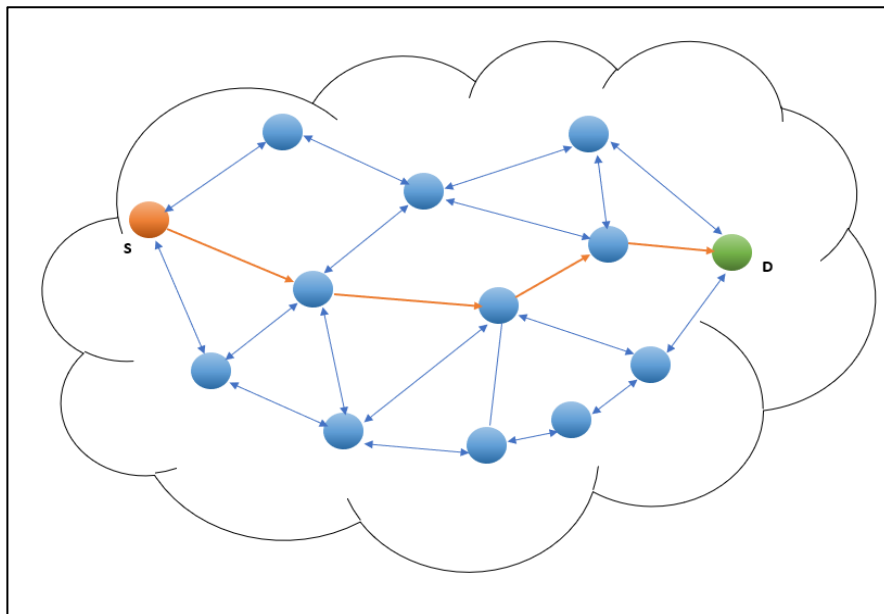


Figure 2.12 : Routage plate.

4.2. Protocoles de routage hiérarchique :

Le routage hiérarchique est considéré comme étant l'approche la plus favorable en termes d'efficacité énergétique. Cette approche est basée sur la formation de clusters (zones communes). Le principe est de router les données récoltées par chaque nœud du cluster à son chef de zone (Cluster Head), qui est après des traitements sur leurs parties communes, les transmettra à la prochaine destination (Si le CH ne pouvait pas atteindre directement la station de base, les informations seraient routées vers le prochain chef de zone). [8]

L'avantage est la réduction des coûts en communication et en énergie en minimisant le nombre de messages circulant sur le réseau, étant donné que les CH appliquent des fonctions d'agrégat sur les données du cluster ce qui permet de les combiner. L'inconvénient concerne la taille du réseau. En outre, quand la taille du réseau augmente, le processus d'élection du Cluster Head devient critique et gourmand en ressources. LEACH (Low Energy Adaptive Clustering Hierarchical) est l'un des premiers protocoles de routage pour les réseaux de capteurs. Un exemple de ce réseau est donné dans la figure suivante :

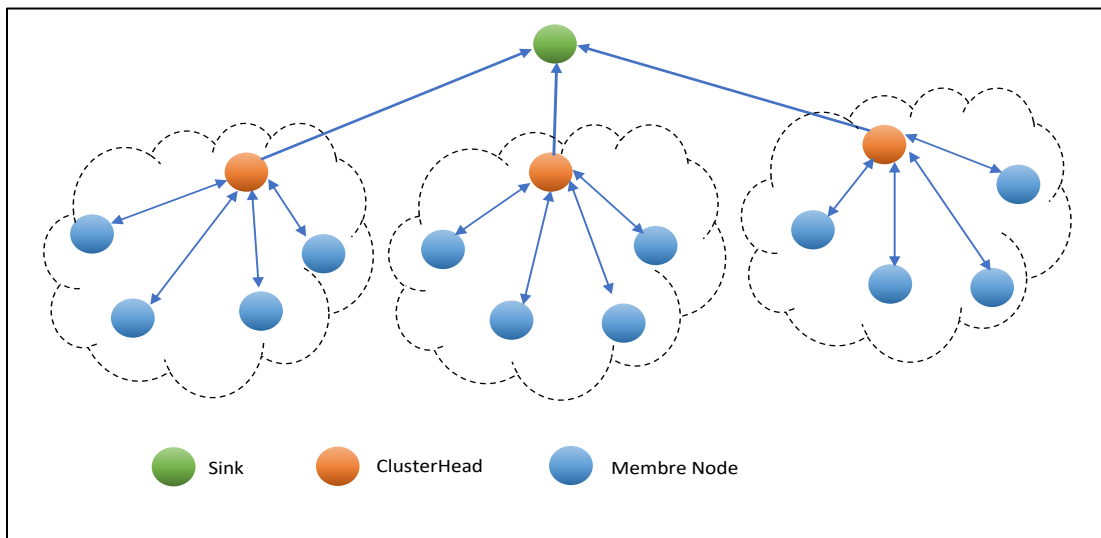


Figure 2.13 : Routage hiérarchique.

4.3. Protocoles de routage basé sur la localisation :

Ce protocole est mieux adapté aux réseaux avec une forte mobilité. L'identification des emplacements géographiques des nœuds capteurs sur la zone de captage est d'une importance capitale pour les mécanismes de routage de données dans les RCSF. Ces informations de localisation permettent le calcul des positions des capteurs et les distances qui les séparent afin de construire les chemins les plus courts entre un nœud source et sa destination.

Cette approche de routage est plus économe en énergie car elle dispense les nœuds capteurs d'employer les méthodes aléatoires ou probabilistes pour rechercher les routes. De plus, la localisation des nœuds (et par conséquent de leurs régions) permet de diffuser des requêtes uniquement à ces régions et éviter leur diffusion en mode broadcast (diffusion globale à tous les nœuds) et ainsi réduire le nombre de transmissions d'une manière significative. L'inconvénient est la nécessité d'équiper les nœuds capteurs avec un système de localisation par satellite comme le GPS, ce qui impacte négativement sur la consommation d'énergie. [42]

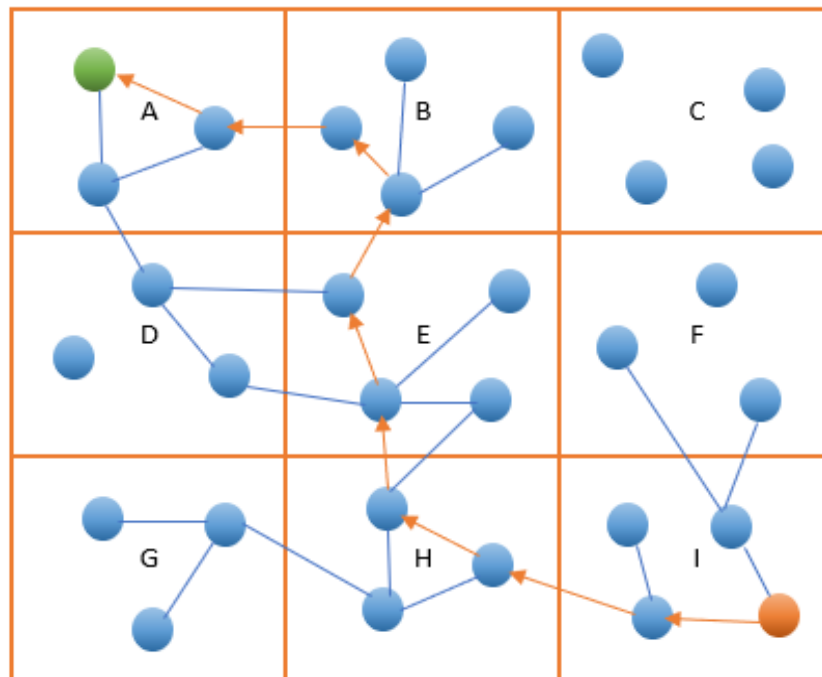


Figure 2.14 : Routage Basée Localisation.

4.3.1. MECN et SMECN :

Minimum Energy Communication Network (MECN) est un protocole de routage qui cherche à établir et à entretenir une énergie minimale pour les réseaux sans fil en utilisant des GPS de faible puissance. MECN utilise une station de base comme destination de l'information, ce qui est toujours le cas pour les réseaux de capteurs. MECN identifie une région de relais pour chaque nœud. La région de relais se compose de nœuds dans une zone périphérique où la transmission à travers ces nœuds est plus économe en énergie que la transmission directe. L'idée principale de MECN est de trouver un sous-réseau qui a moins de nœuds et qui nécessite moins d'énergie pour la transmission entre deux nœuds quelconques. Cela est effectué en utilisant une recherche localisée pour chaque nœud en prenant en considération sa région de relais [6]

SMECN (Small MECN) est une extension de MECN. Le sous- réseau construit par SMECN est probablement plus petit (en termes de nombre d'arcs) que celui construit par MECN.

4.3.2. Le protocole de routage « GAF » :

GAF (Geographic Adaptive Fidelity) est un protocole de routage basé sur la localisation des nœuds. Il est conçu principalement pour les réseaux mobiles ad hoc, mais peut être applicable aux réseaux de capteurs. La localisation des nœuds dans GAF pourrait être fournie à l'aide d'un GPS ou d'autres techniques de localisation. Il consiste à former des grilles virtuelles de la zone concernée en partitionnant cette zone où les nœuds sont déployés en de petites zones telles que, pour deux grilles adjacentes G_x et G_y , tous les nœuds de G_x peuvent communiquer avec tous les nœuds G_y . Ainsi, ce système de partitionnement GAF assure la fidélité du routage car il existe au moins un chemin entre un nœud et la station de base. [10]

4.3.3. Le protocole de routage « GEAR » :

Le protocole de routage GEAR (Geographic and Energy Aware Routing) a été suggéré par Y. Yu, D. Estrin. Il consiste à utiliser l'information géographique lors de la diffusion des requêtes aux régions cibles car les requêtes contiennent souvent des données géographiques. L'idée est de restreindre le nombre de données dans la diffusion dirigée en prenant en considération uniquement une certaine région, plutôt que d'envoyer les données à l'ensemble du réseau. Avec le

protocole GEAR, chaque nœud maintient le coût pour atteindre la destination en passant par ses voisins. Ce coût est divisé en deux parties : un coût estimé et un coût d'apprentissage. Le coût estimé est une combinaison de l'énergie résiduelle et de la distance jusqu'à destination. Le coût d'apprentissage est un raffinement du coût estimé qu'un nœud dépense pour le routage autour des trous dans le réseau. Un trou se forme quand un nœud n'a pas de voisin proche par lequel il peut atteindre la région cible. S'il n'y a pas de trous, le coût estimé est égal au coût d'apprentissage. Le coût d'apprentissage se propage d'un saut à chaque fois qu'un paquet atteint la destination. [9]

4.3.4. Le protocole GPSR :

GPSR C'est un protocole de routage géographique qui garantit un passage à l'échelle car seules les informations locales sont stockées et utilisées. Lorsque GPSR se trouve face à une zone de vide, il passe du mode greedy au mode perimeter. Ce faisant, il va choisir le prochain saut par rapport à la règle de la main droite. Ce choix a un caractère arbitraire et ne tient pas compte de la possibilité qu'il y ait plus d'opportunités d'acheminement d'un côté ou d'un autre.

4.3.4.1. Principe de fonctionnement :

GPSR (Greedy Perimeter Stateless Routing) est un protocole de routage réactif et efficace qui a été conçu et adapté pour les réseaux ad hoc mobiles et les réseaux de capteurs. Son modèle de fonctionnement suppose que tous les nœuds se trouvent au niveau d'un même plan. Du fait de la mobilité des nœuds, certains algorithmes de routage qui se basent sur la topologie du réseau, ou lance une phase de découverte de routes pour acheminer des données ne sont pas adaptés à GPSR. De ce fait, il utilise la position géographique des nœuds pour l'acheminement des paquets de données ou de contrôle.

Dans un réseau mobile, les nœuds sont susceptibles de se déplacer. Il faut ainsi un mécanisme permettant à chaque nœud de savoir la position de ses voisins. Afin de signaler leur présence et leur localisation, les nœuds inondent le réseau en envoyant un paquet de signalement (messages « beacon ») contenant la position et un identifiant (par exemple, son adresse IP). Nous proposons d'utiliser les messages « beacon » de contrôle pour renseigner les nœuds voisins sur les directions que peuvent assumer un nœud.

L'échange périodique de ces paquets de contrôle permet aux nœuds de construire leur table de position. La période d'émission des messages « beacon » dépend du taux de mobilité dans le réseau ainsi que de la portée radio des nœuds. En effet, lorsqu'un nœud ne reçoit pas de message « beacon » d'un voisin après un temps T , il considère que le voisin en question n'est plus dans sa zone de couverture et l'efface de sa table de position. Il faut donc adapter le temps d'émission des paquets de contrôle. Un des avantages du BP (Beaconing Protocol) est que chaque nœud n'a besoin que des informations sur ses voisins directs, ce qui nécessite peu de mémoire.

L'acheminement des paquets par GPSR se fait selon deux modes suivant la densité du réseau : le « Greedy Forwarding » et le « Perimeter Forwarding » (appelés respectivement GF et PF dans la suite).

4.3.4.2. Greedy Forwarding :

Le GF construit un chemin parcourant les nœuds de la source à la destination où chaque nœud qui reçoit un paquet l'achemine en faisant un saut vers le nœud intermédiaire le plus proche de la destination dans sa zone de couverture. La figure 22 montre un exemple de ce mode d'acheminement.

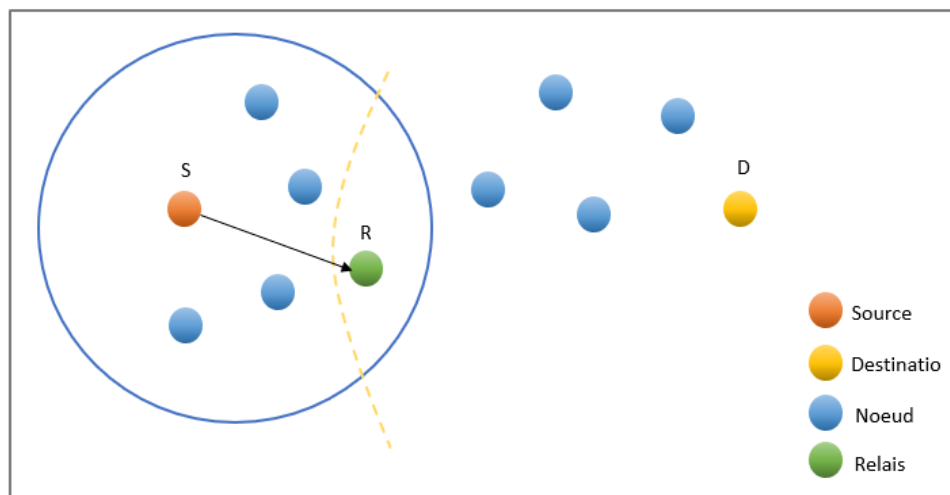


Figure 2.15 : y est le voisin de x le plus proche de la destination D.

Cet algorithme d'acheminement offre un taux de réussite assez proche des réseaux filaires dans le cas où la mobilité de la destination n'est très forte. Lorsqu'un paquet de données atteint une région où le GF échoue, alors le PF est utilisé.

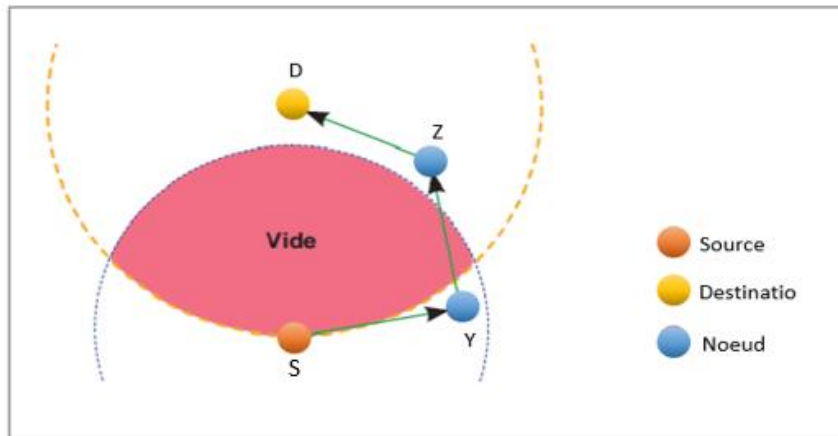


Figure 2.16 : X est plus proche de d que ses voisins.

4.3.4.3. Périmètre Forwarding :

Cet algorithme utilise la règle de la main droite qui est définie comme suit arrive à un nœud x du nœud y, le chemin à suivre est le prochain qui se trouve dans le sens inverse des aiguilles d'une montre en partant de x et par rapport au segment [xy] tout en évitant les « crossing links » (route déjà parcourue). la figure 24 montre un exemple plus précis de ce mode.

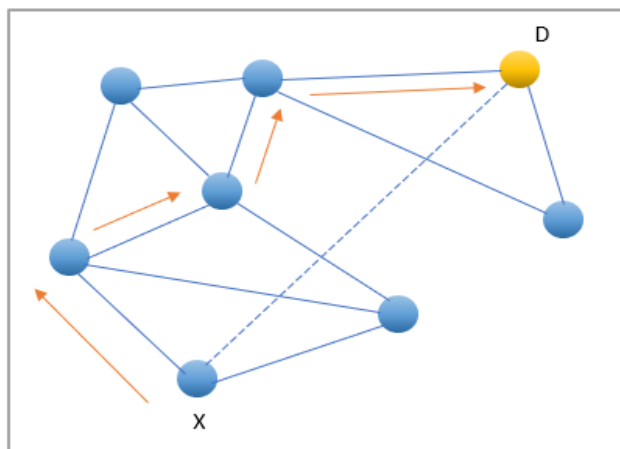


Figure 2.17 : Passage au mode PR.

5. Conclusion :

Les avancées récentes dans les réseaux de capteurs sans fil ont mené à nouveaux protocoles conçus spécifiquement pour des réseaux de capteurs dont la contrainte d'énergie est une considération essentielle. La conception de tel protocole de routage pour RCSF est influencée par plusieurs facteurs, ces facteurs doivent être dépassés pour atteindre la communication efficace dans les réseaux de capteurs. Cette dernière est mesurée par les métriques citées précédemment.

Dans ce chapitre, on a donné une vue globale sur les techniques de routage dans les réseaux de capteurs sans fil et qui ont comme un objectif commun le prolongement de la durée de vie du réseau. De façon générale, les techniques de routage sont classifiées selon la structure de réseau qui peut être plate, hiérarchiques, ou basée sur la localisation.

Chapter III : Conception et proposition

1. Introduction :

Le routage géographique est l'une des techniques les plus utilisées pour router les données dans un réseau de capteurs sans fil. Il est basé sur une stratégie d'acheminement dite greedy dans laquelle le nœud capteur sélectionne parmi les nœuds voisins les plus proches de la destination, un nœud selon la métrique de routage utilisée. Les décisions de routage sont basées sur la position du nœud en cours, les positions des voisins, et la position de la destination. Ils sont généralement appelés "localisés" parce qu'ils se basent uniquement sur les informations locales fournies depuis les nœuds voisins.

Sachant que les nœuds capteurs sont déployés afin de surveiller un événement physique où le temps d'intervention est un facteur très important. Pour cela, le temps de transmission de bout en bout est une métrique primordiale pour le bon fonctionnement de ces réseaux. Minimiser ce temps de transmission est l'un des objectifs major de notre travail dans ce mémoire de fin d'étude.

2. Modèle du réseau :

Dans ce travail, on considère un réseau de capteurs sans fil composé d'un ensemble de nœuds capteurs homogènes et statiques, équipés tous de la même interface réseau full duplex permettant la transmission et la réception en même temps. On suppose que chaque nœud connaît sa position, la position de ses voisins, et la position de la station de base. On suppose aussi que les horloges de tous les nœuds du réseau sont synchronisées.

Nous allons modéliser le réseau par un graphe $G = (E, V)$, où E représente l'ensemble des nœuds capteurs dans le réseau et V représente l'ensemble des arcs entre ces nœuds. On suppose que chaque nœud u dans E a un rang de transmission maximal r , et que tous les nœuds ont le même rang de transmission. Un arc uv existe entre les deux nœuds u, v dans E si et seulement si la distance euclidienne entre eux est inférieure ou égale au rang de transmission r (i.e. les deux nœuds peuvent communiquer entre eux). uv dans V ssi $dist(u, v) \leq r$.

3. Fonctionnement du protocole :

L'idée de base de notre protocole proposé est de faire combiner le routage géographique avec la méthode d'accès au media CDMA. L'objectif de cette combinaison est de réduire le délai de

transmission des paquets vers la station de base. En effet, avec les autres méthodes d'accès au media, la transmission des nœuds qui sont dans la même portée de transmission se fait de façon séquentielle, alors qu'avec la méthode d'accès au media CDMA, tous les nœuds peuvent émettre leurs paquets immédiatement sans attendre que le media de transmission soit libre (transmission simultanée).

Le protocole proposé s'exécute sur deux phases : la phase de génération des codes CDMA qui consiste à générer et partager les différents codes CDMA de chaque nœud. Tandis que la deuxième phase sert à acheminer les paquets vers la station de base à travers un acheminement multipoint jusqu'à la station de base.

3.1 Phase de génération des codes CDMA :

Comment générer les codes CDMA pour chaque nœud en utilisant l'algorithme de Walsh Hadamard.

3.1.1 Comment fonctionne CDMA :

Pour voir comment fonctionne CDMA, nous devons comprendre les séquences orthogonales (également appelées puce).

Soit N le nombre de stations établissant un accès multiple sur un canal commun. Alors les propriétés des suites orthogonales peuvent être énoncées comme suit :

1. Une séquence orthogonale peut être considérée comme une matrice $1 \times N$.

Ex : $[+1 -1 +1 -1]$ pour $N = 4$.

2. Les règles de multiplication scalaire et d'addition de matrice suivent comme d'habitude.

Ex : $3 \times [+1 -1 +1 -1] = [+3 -3 +3 -3]$

Ex : $[+1 -1 +1 -1] + [-1 -1 -1 -1] = [0 -2 0 -2]$

3. Produit Intérieur : Il est évalué en multipliant deux séquences élément par élément puis en ajoutant tous les éléments de la liste résultante.

○ Le produit intérieur d'une séquence avec lui-même est égal à N

$$[+1 -1 +1 -1] \times [+1 -1 +1 -1] = 1 + 1 + 1 + 1 = 4$$

○ Le produit intérieur de deux séquences distinctes est égal à zéro

$$[+1 -1 +1 -1] \times [+1 +1 +1 +1] = 1 - 1 + 1 - 1 = 0$$

Pour générer des séquences orthogonales valides, utilisez une table de Walsh comme suit :

Itération initiale de l'algorithme : initialement le code sur un bit. On peut choisir +1 comme on peut choisir -1.

$$W_1[+1]$$

Itération N : chaque itération N génère 2^{N-1} codes sur 2^{N-1} bits chacun.

$$W_N = \begin{bmatrix} W_N & W_N \\ W_N & \overline{W_N} \end{bmatrix}$$

Où W_N est le code généré à l'itération précédente de l'algorithme et $\overline{W_N}$ est le complément de W_N (Remplacer +1 par -1 et -1 par +1).

Exemple : pour générer un code sur 4 bits, il faut 3 itérations de l'algorithme

Itération 1 : $W_1 = +1$ (on peut commencer par +1 comme on peut commencer par -1)

$$W_1 = [+1]$$

Itération 2 : W_2 ; la deuxième itération génère 2^{2-1} codes sur 2^{2-1} bits chacun.

$$W_2 = \begin{bmatrix} W_N & W_N \\ W_N & \overline{W_N} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} +1 & +1 \\ +1 & -1 \end{bmatrix}$$

Itération 3 : W_4 ; la troisième itération génère 2^{3-1} codes sur 2^{3-1} bits chacun.

$$W_4 = \begin{bmatrix} W_N & W_N \\ W_N & \overline{W_N} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \begin{bmatrix} +1 & +1 \\ +1 & -1 \end{bmatrix} & \begin{bmatrix} +1 & +1 \\ +1 & -1 \end{bmatrix} \\ \begin{bmatrix} +1 & +1 \\ +1 & -1 \end{bmatrix} & \begin{bmatrix} -1 & -1 \\ -1 & +1 \end{bmatrix} \end{bmatrix}$$

Chaque ligne de la matrice représente une séquence orthogonale. Nous pouvons donc construire des séquences pour $N = 2^M$. Voyons maintenant comment CDMA fonctionne en utilisant des séquences orthogonales.

Procédure :

1. La station code son bit de données comme suit.
 - +1 si bit = 1
 - -1 si bit = 0
 - Aucun signal (interprété comme 0) si la station est inactive
2. Chaque station se voit attribuer une séquence orthogonale unique (code) qui est longue de N bits pour N stations
3. Chaque station effectue une multiplication scalaire de son bit de données codé et de sa séquence de code.
4. La séquence résultante est ensuite placée sur le canal. Étant donné que le canal est commun, les amplitudes s'additionnent et, par conséquent, la séquence de canaux résultante est la somme des séquences de tous les canaux.
5. Si la station 1 veut écouter la station 2, elle multiplie (produit intérieur) la séquence de canaux avec le code de la station S2.
6. Le produit interne est ensuite divisé par N pour obtenir le bit de données transmis depuis la station 2.

Exemple :

Supposons l'exemple de 4 stations S1, S2, S3, S4 et supposons que le code CDMA de chaque station est sur 4 bits. Donc nous allons utiliser une table *Walsh table* de 4×4 pour leur attribuer des codes suivants :

- $C1 = [+1 +1 +1 +1]$
- $C2 = [+1 -1 +1 -1]$
- $C3 = [+1 +1 -1 -1]$
- $C4 = [+1 -1 -1 +1]$

Supposons que les 4 stations envoient respectivement les 4 bits de données suivantes :

- S1 : 11
- S2 : 10
- S3 : pas de données.
- S4 : 00

Le résultat de la transmission parallèle :

S1 : [+1 +1 +1 +1 +1 +1 +1 +1]

S2 : [+1 -1 +1 -1 -1 +1 -1 +1]

S3 : [0 0 0 0 0 0 0 0]

S4 : [-1 +1 +1 -1 -1 +1 +1 -1]

Signal cumulée = [+1 +1 +3 -1 -1 +3+1+1]

On suppose qu'une autre station S5 veut recevoir les données envoyées par la station S2. Elle doit utiliser le code de S2 pour décoder les données correspondantes.

$$S2 = ([+1 -1 +1 -1 -1 +1 -1 +1] \times [+1 +1 +3 -1 -1 +3+1+1]) / 8$$

$$= [+1 -1+3+1+1+3-1+1] / 8 = 8/8 = 1$$

Data bit that was sent = 1.

Chaque nœud doit exécuter l'algorithme de Walsh Hadamard pour générer son propre code. Cet algorithme permet de générer plusieurs codes orthogonaux.

L'utilisation de codes permet de distinguer les différents messages potentiellement envoyés par différents nœuds.

3.1.2. Transformée rapide de Walsh Hadamard (FWHT) :

La transformée de Walsh est modélisée comme dans :

$$W(u) = \frac{1}{N} \sum_{x=0}^{N-1} f(x) \left[\prod_{i=0}^{n-1} (-1)^{b_i(x)b_{n-1-i}(u)} \right]$$

Où x et y sont des variables indépendantes représentées en n bits. La représentation binaire de x et y peut s'écrire

$$(x)_{10} = (b_{n-1}(x) b_{n-2}(x) \dots b_0(x))_2$$

$$(u)_{10} = (b_{n-1}(u) b_{n-2}(u) \dots b_0(u))_2$$

with $b_i(x) = 0$ or 1 for $i = 0, \dots, n-1$

Dans cette transformation, le noyau de Walsh forme un tableau de matrices ayant des lignes et des colonnes orthogonales. Par conséquent, les transformations directes et inverse sont des opérations identiques à l'exception du facteur multiplicatif constant de $1/N$ pour le signal 1D.

$$f(x) = \sum_{u=0}^{N-1} W(u) \left[\prod_{i=0}^{n-1} (-1)^{b_i(x)b_{n-1-i}(u)} \right]$$

3.1.3 Processus de chiffrement :

Initialement, nous divisons le fichier audio d'entrée en images, chacune avec N échantillons. Supposons que le signal de message est $m = \{m_1, m_2, \dots, m_i, \dots, m_N\}$ $i = 1, 2, \dots, N$. Nous compressons les signaux audios en fonction de l'équation. et réduire l'espace échantillon en supprimant les coefficients d'ordre supérieur. Le signal d'origine, le signal compressé avec des valeurs numériques sont affichés dans

$$m_w = FWHT(m)$$

$$m_w(N - L : \text{length}(m_w)) = 0; \text{length}(m_w) = N$$

Où $m_w(P, I)$ est le signal de données compressé et P est la taille d'échantillon du signal compressé.

3.1.4 Processus de permutation :

Avant le processus de permutation, les échantillons audios sont remodelés $m_w(P, I)$ dans un espace vectoriel bidimensionnel $m_w(Q, R)$. Dans cette étape, permuter les échantillons audios en fonction de la matrice aléatoire générée à partir de la carte Henon modifiée en effectuant une transformation sur les échantillons de données d'origine qui produisent des échantillons audios chiffrés $CI(Q, R)$, avec un histogramme uniforme. Le nombre minimum d'itérations pour la carte Henon doit être supérieur à P^2 pour permuter complètement les échantillons de données. Un système chaotique montre une évolution progressive du régime périodique au régime quasi-périodique et au régime chaotique en faisant varier lentement les paramètres de contrôle. Puisqu'il y a une transition lente de périodique à chaotique, il peut y avoir une chance de produire des échantillons périodiques ou redondants pour les premières itérations. Dans ce scénario, les premières itérations du processus de permutation semblent assez proches les unes des autres, elles doivent donc être ignorées. Par conséquent, le nombre total d'itérations est $P^2 + 1000$. L'algorithme 1 décrit en détail l'ensemble du processus de permutation. Itérez les échantillons de données comme suit :

$$x_i + 1 = \text{mod}((1 - a \cos x_i) + by_j, Q) \quad i \in (1, Q)$$

$$y_{j+1} = \text{mod}((x_i), R) \quad j \in (1, R)$$

Où (x_i, y_i) est la position initiale de l'échantillon de données et (x_{i+1}, y_{i+1}) est la première position itérée.

Algorithm 1. Permutation of speech samples

Input: Audio files, system parameters of modified Henon map

Output: permuted speech samples

- 1: Set audio file with frequency 8 KHz for a duration of 0.5 sec and system parameters $a = 3.58$, $b = 0.56$
 - 2: Read and segment the audio file
 - 3: %%Compression, Compress the signal and Zeroing out the coefficient.
 - 4: $m_w = \text{wht}(\text{audio.wav})$
 - 5: $m_w(N - l : \text{length}(m_w)) = 0$;
 - 6: %%permutation
 - 7: Reshape(m_w , Q, R)
 - 8: for $i = 1:Q$ do
 - 9: for $j = 1:R$ do
 - 10: $x_i + 1 = 1 - a * \cos(x_i) + by_j$
 - 11: $y_j + 1 = bx_i$
 - 12: end for
 - 13: end for
-

3.1.5 Mécanisme de sélection dynamique :

Du flux de clé Afin de rendre les conditions initiales dépendantes les unes des autres et d'être sensibles aux données audio simples, les conditions initiales et en effectuant des opérations arithmétiques. Les sous-clés ainsi obtenues sont les conditions $x(0)$, $y(0)$, $z(0)$, $w(0)$ initiales du système hyperchaotique. À chaque cycle d'opération, les clés sont mises à jour et cela évitera la possibilité de diverses attaques différentielles.

$$key(1) = \frac{1}{N/2} \sum_{i=0}^N m_w(2i+1) \quad i = 1, 2, \dots, N$$

$$key(2) = \frac{1}{N/2} \sum_{i=0}^N m_w(2i)$$

$$subkey(1) = key(1) + key(2), mod1$$

$$subkey(2) = key(1) - key(2)$$

$$subkey(3) = key(1) \times key(2)$$

$$subkey(4) = key(1) \tilde{A} \cdot key(2)$$

Après avoir calculé les conditions initiales $[x(0), y(0), z(0), w(0)]$ pour le système hyperchaotique de Lorenz modifié, générer le flux de clés e par la méthode Runge-Kutta. Convertissez les quatre séquences hyper-chaotiques en séquences entières $\{xi^*\}$, $\{yi^*\}$, $\{zi^*\}$ et $\{wi^*\}$ comme suit :

$$x_i^* = mod((abs(x_i) - floor(x_i)) 10^{14}, 1)$$

$$y_i^* = mod((abs(y_i) - floor(y_i)) 10^{14}, 1)$$

$$z_i^* = mod((abs(z_i) - floor(z_i)) 10^{14}, 1)$$

$$w_i^* = mod((abs(w_i) - floor(w_i)) 10^{14}, 1)$$

x_i, y_i, z_i, w_i indiquer i^{th} l'élément de flux de clés. **abs** (x) renvoie la valeur absolue de x et **floor** (x) renvoie le plus grand entier inférieur ou égal à x . Générez le flux de clé normalisé pour l'opération de substitution comme suit :

$$X = XOR(x_i^*, y_i^*, z_i^*, w_i^*)$$

$$key_norm = \frac{X - X_{min}}{X_{max} - X_{min}}$$

Où **key_norm** est le flux de clés normalisé généré. **Xmax**, **Xmin** sont les valeurs maximales et minimales présentes dans le tableau **X**. La séquence d'opération est élaborée dans l'algorithme 2

Algorithm 2: Dynamic keystream Generation

Input: compressed signal coefficient, set the system parameter as $a = 10$; $b = 10/3$; $c = 28$; $kp = -3.5$; $ki = 5.2$. Time step = 0.005

Output: Pseudo random number sequences

1. %% initial conditions for hyperchaotic system
2. for $i = 1:N$
3. $key(1) = \frac{2}{N} \text{sum}(2i + 1)$
4. $key(2) = \frac{2}{N} \text{sum}(2i)$
5. end for
6. %%sub key generation
- 7: $subkey(1) = key(1) + key(2), \text{mod}1$
- 8: $subkey(2) = key(1) - key(2)$
- 9: $subkey(3) = key(1) \times key(2)$
- 10: $subkey(4) = key(1) \tilde{A} \cdot key(2)$
- 11: %% keystream generation
- 12: %%set the initial conditions for hyperchaotic system as $x(0)$
 $= subkey(1)$; $y(0) = subkey(2)$ $z(0) = subkey(3)$; $w(0) = subkey(4)$
- 13: for $k = 1:N$
- 14: $\dot{x} = a * y(k) - a * x(k) + w(k)$
- 15: $\dot{y} = -x(k) * z(k) + c * x(k) - y(k)$
- 16: $\dot{z} = x(k) * y(k) - b * z(k)$
- 17: $\dot{w} = kp * a * (y(k) - x(k)) - ki * x(k)$
- 18: %%update the values of x, y, z, w
- 18: $x(k + 1) = x(k) + dt * \dot{x}$
- 19: $y(k + 1) = y(k) + dt * \dot{y}$
- 20: $z(k + 1) = z(k) + dt * \dot{z}$
- 21: $w(k + 1) = w(k) + dt * \dot{w}$
- 22: $t(k + 1) = t(k) + dt$
23. end for
- 24: %% Convert the sequences into integer sequences
- 25: for $i = 1:N$
- 26: $x_i = \text{mod}((\text{abs}(x_i) - \text{floor}(x_i))10^4, 1)$
- 27: $y_i = \text{mod}((\text{abs}(y_i) - \text{floor}(y_i))10^4, 1)$
- 28: $z_i = \text{mod}((\text{abs}(z_i) - \text{floor}(z_i))10^4, 1)$
- 29: $w_i = \text{mod}((\text{abs}(w_i) - \text{floor}(w_i))10^4, 1)$
29. end
- 30: for $k = i:N$
- 31: $X = \text{XOR}(x(i), y(i), z(i), w(i))$
- 32: end for
- 33: %%Normalized key stream generation
- 34: $key_norm = X - X_{min} / X_{max} - X_{min}$

Après que chaque nœud calcule son code CDMA, il est nécessaire de déterminer les nœuds avec lesquels chaque nœud doit partager son code. En effet, un nœud n'a besoin de partager son code qu'avec son prochain nœud vers la station de base qui sert comme un nœud de relai vers la station de base. Pour cela, au moment de l'installation du réseau, chaque nœud applique l'algorithme de MFR. Le résultat de cette algorithme est le nœud le plus loin menant vers la station de base. C'est avec ce dernier que le nœud va partager son code CDMA.

3.1.6 MFR (Most Forwarding with Radius) :

La stratégie de routage définie par la méthode MFR (Most Forward within Radius) suppose que chaque nœud connaît sa position, celles de ses voisins et enfin, celle de la destination. Lorsqu'un capteur doit envoyer un paquet à une destination non voisine, il sélectionne parmi ses voisins celui qui fera suivre le paquet selon le principe suivant : le nœud commence par tracer une droite entre lui et la destination. Ensuite, il trace les projetés orthogonaux des positions des capteurs voisins sur la droite. Celui dont le projeté orthogonal est le plus proche de la destination sera sélectionné pour faire suivre le paquet et appliquera à son tour cette sélection jusqu'à atteindre la destination. [37]

Après la désignation du prochain nœud en utilisant le protocole de MFR, le nœud partage son code CDMA avec ce dernier (son prochain nœud vers la Station de Base). Ce code CDMA sera utilisé pour décoder les paquets de ce nœud.

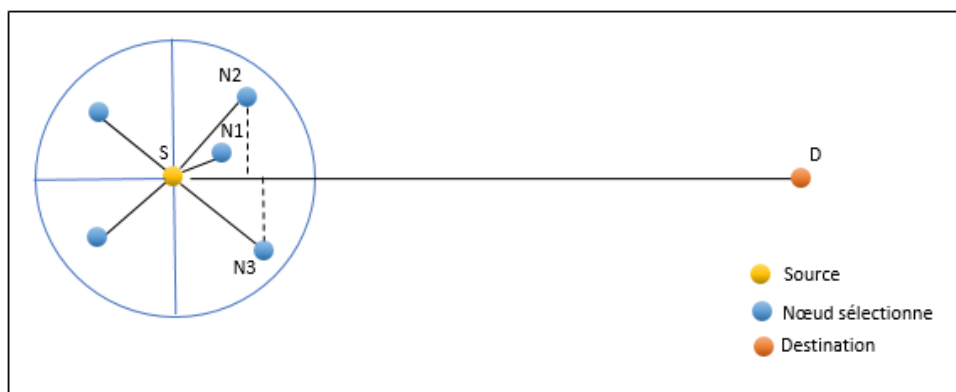


Figure 3.1 : le nœud S sélectionne le nœud N3 comme prochain saut dans le MFR

3.2. Phase d'acheminement des paquets :

Dans cette étape, chaque nœud utilise son propre code CDMA (*Chip séquence*) pour accéder au media. L'objectif de cette technique est de permettre aux nœuds situés dans la même portée de transmission de transmettre leurs paquets de données en même temps afin de réduire le délai de transmission de bout en bout. Pour cela, le temps de transmission est soigneusement défini pour garantir le bon fonctionnement du protocole. On suppose que les horloges de tous les nœuds du réseau sont synchronisées. Après la phase de génération et de distribution des codes CDMA entre les nœuds, un nœud qui a un paquet à envoyer vers la station de base doit attendre le début du prochain cycle d'envoi. Un cycle d'envoi commence par un temps de repos appelé DIFS. Après le DIFS tous les nœuds ayant un paquet à envoyer commencent la transmission immédiatement. Après la transmission du paquet, tous les nœuds marquent un temps de repos court appelé SIFS en attendant de l'ACK. Une fois l'ACK est reçu, c'est la fin du cycle de transmission. La figure suivante montre la chronologie d'un cycle d'envoi.

Les paquets de données sont envoyés initialement vers le cluster Head. Ensuite le cluster Head envoie le paquet directement dans le prochain cycle d'envoi vers la SB.



Figure 3.2 : Cycle de transmission de notre protocole.

Exemple :

Prenons l'exemple de la figure suivante. Après l'installation du réseau, chaque nœud exécute l'algorithme walsh. On suppose que le nœud S choisit le code '1111'. Ensuite, il exécute le protocole MFR pour désigner son prochain nœud. Dans l'exemple le prochain nœud de S selon le protocole MFR est R1. Le nœud S envoie son code '0011' à son prochain nœud R1. Pareil, le prochain nœud de R1 selon MFR est R2, R1 envoie son code '1010' au nœud R2. Le prochain

nœud de R2 selon MFR est R3 donc R2 envoie son code '1100' au nœud R3, le prochain nœud de R3 selon MFR est la station de base donc il envoie son code '1001' à la station de base.

Dans la phase d'acheminement, tous les nœuds qui sont dans la même portée de transmission (s, N1, N2, N3, N4, R1) ayant des paquets à envoyer vers la station de base attendent le prochain cycle d'envoi. Cette transmission s'effectue en parallèle et par conséquent, il y aura une collusion. Le nœud R1 reçoit le signal cumulé généré par cette collusion. En utilisant le code CDMA de S, il arrive à extraire le paquet envoyé par le nœud S (ainsi que ceux qui sont envoyés par les autres nœuds s'il est leur prochain nœud). Ce processus se répète par les nœuds R1, R2....

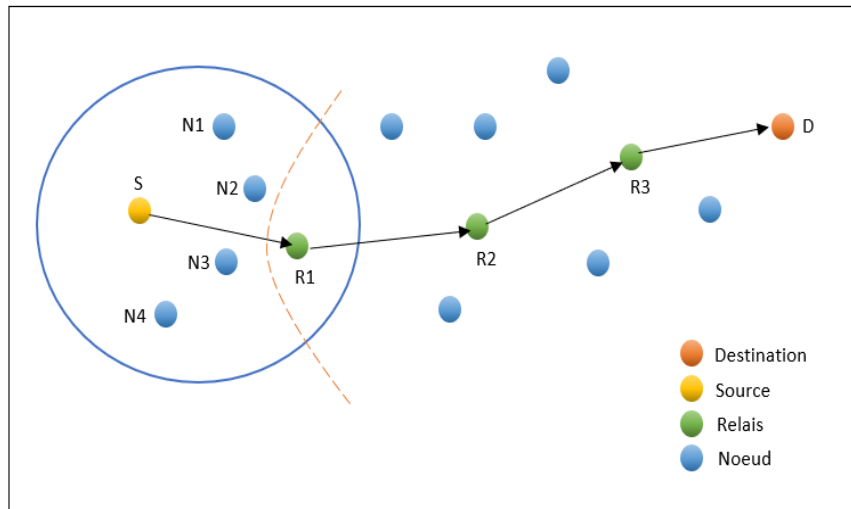


Figure 3.3 : Exemple de fonctionnement de l'approche proposée.

4. Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons présenté la description détaillée de la solution proposée pour minimiser le délai d'acheminement des paquets entre la source et la destination en combinant le routage géographique avec la méthode d'accès au media CDMA dans les réseaux de capteurs sans fil. La solution proposée est basée sur la transmission parallèle afin de réduire le temps d'attente pour réserver le canal de transmission. Dans le prochain chapitre, nous allons présenter l'étude expérimentale pour évaluer les performances de la solution proposée.

Chapitre IV : Implémentation

1. Introduction

Dans le but d'une démonstration qui concrétise notre étude, nous présenterons dans ce chapitre une simulation de notre proposition, Dans un premier temps nous mettons les hypothèses des conditions dans les quelles nous allons travailler et enfin nous terminerons par la description complète du fonctionnement de notre solution. qui est basée sur la transmission parallèle afin de réduire le temps d'attente pour réserver le canal de transmission. Les résultats de simulation de notre solution seront discutés à la dernière section.

2. Hypothèses :

Pour modéliser notre travail, il faut prendre en considération les hypothèses suivantes:

- L'ensemble des nœuds capteurs constituant le réseau sont homogène.
- Les nœuds capteurs et la station de base sont supposés statiques une fois qu'ils sont déployés dans l'environnement.
- Les nœuds capteurs connaissent leurs positions, celles de ses voisins et de la station de base.
- Doivent satisfaire les contraintes de temps : la date de livraison d'un résultat
- Tous les nœuds capteurs ont le même rayon d'émission r .
- Tous les nœuds capteurs ont la capacité d'ajuster leur rayon d'émission r

3. Les choix techniques :

- Système d'exploitation : Windows 10 professionnel.
- Processeur : Intel(R) Core (TM) i3-6006U CPU @ 2.00GHz 2.00 GHz
- Mémoire installée : 4.00 GO.
- Type du système : système d'exploitation 64bit, processeur x64.
- Langage de programmation : java.
- Environnement de développement : eclipse LUNA

4. Description du Langage et des environnements de développement

4.1 Langage de programmation java :

Le Java est un langage de programmation orientée objet développé par Sun Microsystems en 1995, et racheté depuis par Oracle. Le principal avantage de Java est son interopérabilité : la technologie fonctionne aussi bien sur Windows que Mac ou Linux, et sur une myriade d'appareils centres de données, ordinateur, téléphone mobile, lecteur Blu-ray, périphériques TV, consoles de jeux, appareils connectés... Un autre avantage est son caractère universel : le même système peut être utilisé pour une grande variété d'applications.



Le langage Java est basé sur le C++, mais avec une approche simplifiée et des fonctionnalités plus avancées. [43]

4.1.1. Quelques caractéristiques du langage java [44] :

- Interprété
- Portable
- Orienté objet
- Simple
- Fortement type et sûr
- Économe et multitâche

4.2. Environnement de développement Intégré (IDE) Eclipse :

Eclipse IDE est un environnement de développement intégré libre (le terme *Eclipse* désigne également le projet correspondant, lancé par IBM) extensible, universel et polyvalent, permettant potentiellement de créer des projets de développement mettant en œuvre n'importe quel langage

de programmation. Eclipse IDE est principalement écrit en Java (à l'aide de la bibliothèque graphique SWT, d'IBM), et ce langage, grâce à des bibliothèques spécifiques, est également utilisé pour écrire des extensions.

La spécificité d'Eclipse IDE vient du fait de son architecture totalement développée autour de la notion de plug-in (en conformité avec la norme OSGi) : toutes les fonctionnalités de cet atelier logiciel sont développées en tant que plug-in. [45]



4.2.1. Caractéristiques de l'environnement de développement Eclipse :

- Editeur évolué et spécialisé
- Compilation incrémentale
- Tests unitaires
- Débuggeurs de code Java
- Support de ré factoring retravailler le code de manière à améliorer la lisibilité et la maintenance

5. les interfaces de notre application :

Les interfaces de notre application Nous montrons dans ce qui vient quelques captures d'écrans relatives aux interfaces de l'application. Ces interfaces permettent de montrer le fonctionnement des méthodes citées précédemment.

5.1. Interface d'accueil :

La figure 4.1 montre l'interface d'accueil de notre simulation où :

- **Le Bouton Find** : permet de calculer le plus courte chemin vers la destination et d'envoyer les paquets sur le chemin choisie.
- **Le Bouton Reste** : permet d'effacer les données pour redémarrer le processus.
- **Le Bouton New Graph** : permet de changer le Graph.

- **Le Bouton Exit** : pour fermer l'application.
- **Le TextField Nodes** : permet de spécifier un nombre pour les Nodes.
- **Le Slider Edge** : permet de définir la longueur du edge.
- **Le Slider Speed** : permet de régler la vitesse de transmission.

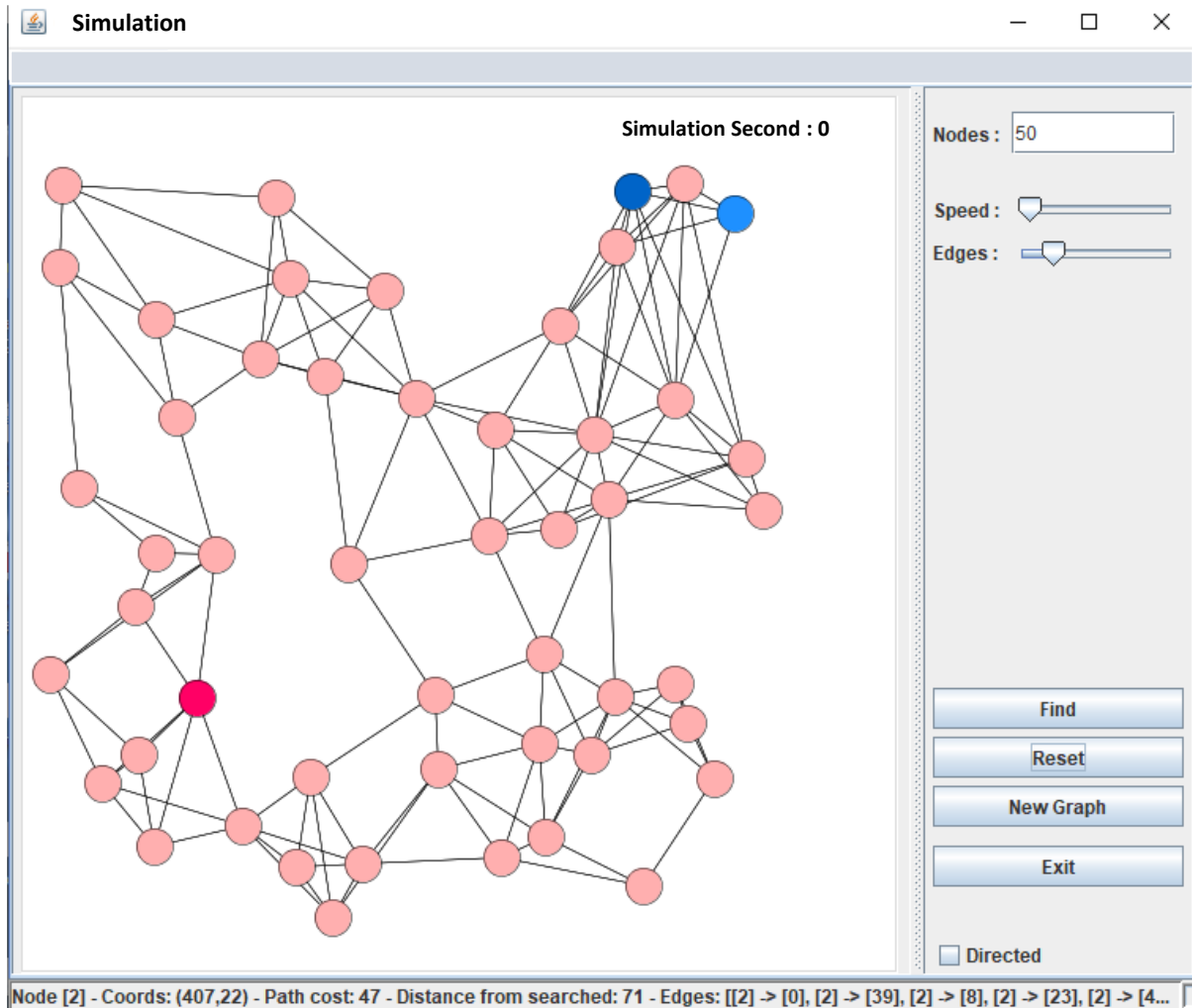


Figure 4.1 : interface d'accueil

5.2 Construction des chemins :

La figure 4.2 montre la construction de le plus court chemin par lesquels l'information sera transmise vers le noeud de destination.

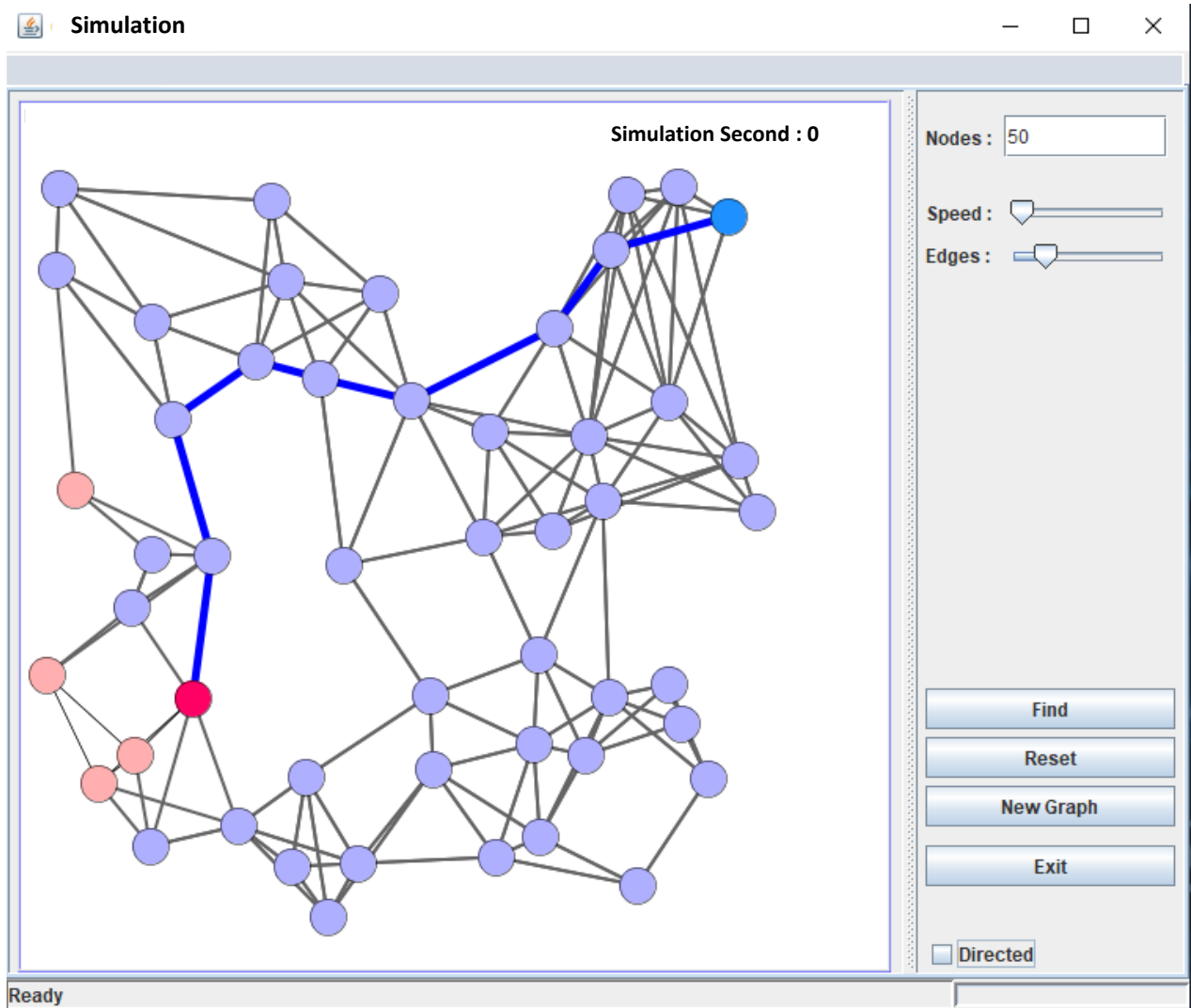


Figure 4.2 : formation des chemins

5.3. Comparaison de résultat :

La figure 4.3 montre la consommation d'énergie dans le réseau en fonction au nombre de noeud et La figure 4.4 montre la relation entre nombre de noeud et nombre de paquet en comparant les résultats des deux protocoles, on remarque que notre protocole consomme moins de temps et envoyer moins de nombre paquet par rapport au protocole de CDMA par ce que notre protocole dirige les paquets dans le réseau, c'est parfois impossible pour obtenir une précision totale car les nœuds du réseau sont distribués de manière aléatoire et il peut y avoir des codes insuffisants à allouer aux nœuds.

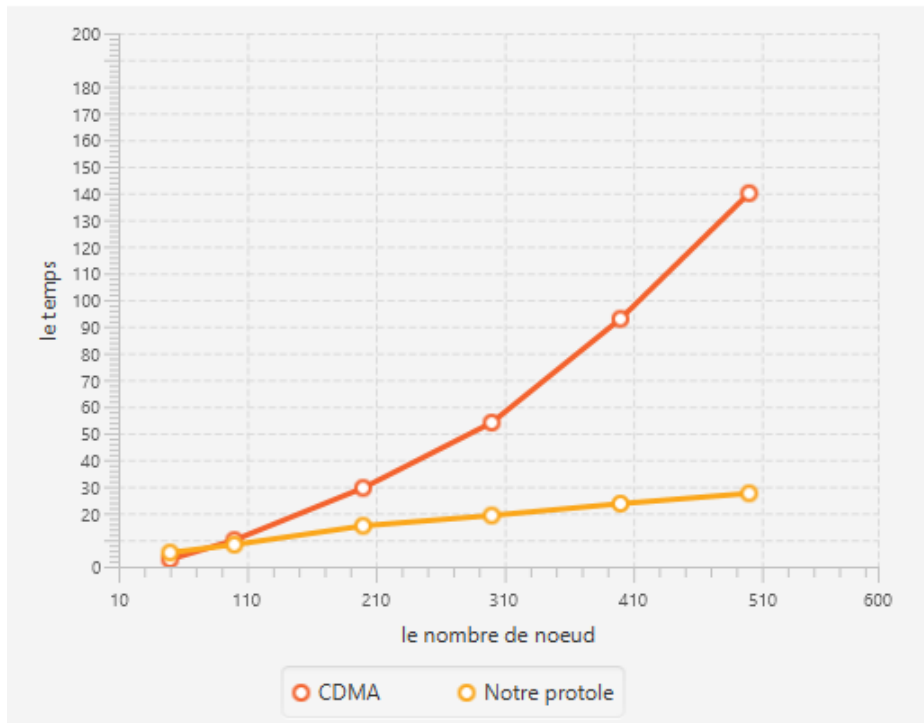


Figure 4.3 Graphe de consommation de temps

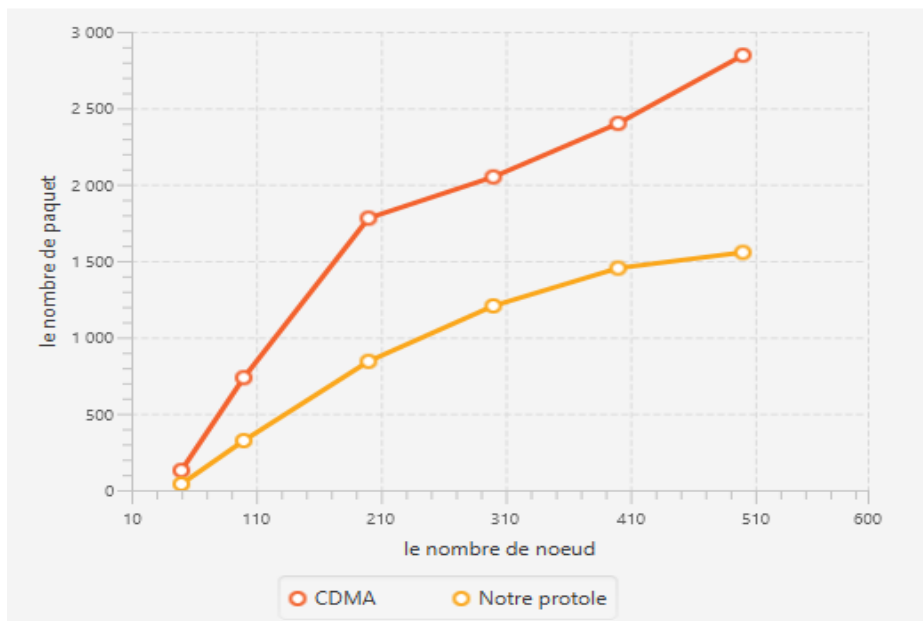


Figure 4.4 Graphe de comparaison nombre de paquet

Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons présenté une simulation d'un protocole de routage pour les réseaux de capteurs sans fil. L'algorithme proposé est un protocole de routage dans les réseaux de capteur sans fils qui se base sur le protocole géographique MFR qui étudier la méthode d'accès CDMA dont le but principal est de réduire la consommation de temps ainsi que la maximisation de la durée de vie du réseau. Pour cela, nous avons mis l'accent sur les points faibles de protocole CDMA et nous avons essayé de les améliorer. Ainsi, ce chapitre a été consacré à montrer quelques interfaces de notre application pour visualiser et expliquer au mieux le mode de fonctionnement de notre protocole.

Conclusion Générale :

Les réseaux de capteurs sans fil (RCSF) constituent des sujets de recherche innovants pour diverses disciplines des sciences et techniques de l'information et de la communication, mais avec toutefois des contraintes spécifiques s'élevant en défis. Parmi les problèmes posés dans ce type de réseaux est le problème de localisation.

Certaines applications de localisation imposent des fortes contraintes, comme la certitude de positionnement et ainsi un temps de réponse limité. CDMA ne peut pas satisfaire ces contraintes, car il est adapté pour envoyer un maximum d'informations par capteurs et peu importe le temps occupé. En résultat de ce comportement, il se produit une mauvaise exploitation des capteurs, surcharge du réseau avec des paquets inutiles (informations obsolètes), mauvaise estimation de la position et le gaspillage de l'énergie.

Nous avons proposé dans ce mémoire une adaptation du protocole d'accès au support CDMA pour une application temps réel. Notre travail fait l'objet d'assurer une meilleure exploitation des capteurs en termes de quantité des informations (plus de précision), la validité des messages (éliminer les paquets retardataire) et garantir un temps de réponse souhaité.

Ce travail nous a permis d'acquérir plusieurs connaissances de bases sur le fonctionnement des réseaux de capteurs sans fil en générale. Pour avancer dans ce travail nous avons créé des programmes en langage JAVA,

Une suite logique à ce travail sera de combiner notre solution avec d'autres techniques pour avoir une meilleure précision. Et pourquoi ne pas déduire une relation fiable entre le temps et le nombre de capteurs exploités.

Bibliographies :

- [1] Mr. DAOU M LE « ROUTAGE DANS LES RESEAUX DE CAPTEURS SANS FILS »
UNIVERSITE MOULOUD MAMMERI DE TIZI OUZOU
- [2] BARMATI Mohammed Elsadiq et YOUCEFI Hanane « Proposition d'un protocole de routage efficace en énergie basée sur une approche inspirée de la nature dans un réseau de capteur sans fil »
Université Ahmed Draia – Adrar
- [3] Mohammed Hadadj et Malek KHENFER « Etude comparative entre les protocoles de Routage RCSF » UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA
- [4] Neciri Said « amelioration d'un protocole de routage basé sur la localisation géographique GPSR pour les VANETs » Université Kasdi Merbah-Ouargla
- [5] Nezo Ibrahim Fofana « Contribution aux architectures protocolaires pour un système de localisation dans un réseau de capteurs sans fil basé sur une couche physique 802.15.4a UWB »
Université Toulouse
- [6] Yaser Yousef « Routage pour la gestion de l'énergie dans les réseaux de capteurs sans fil »
Université de Haute Alsace
- [7] Alagan S. Anpalagan and Elvino S. Sousa «Distributed Packet Scheduling Scheme with Interference Avoidance for Non-Real-Time Applications in CDMA Networks»
- [8] Mr. ABABSA Raouf « Etude Comparative Entre Les Protocoles Hiérarchique Et Le protocole Multi-chaine PEGASISI » Université Larbi Ben M'hidi Oum El Bouaghi
- [9] HANNECHE Amel « Conception d'un nouveau protocole pour les réseaux de capteurs sans fils » Université L'arbi Ben M'hidi Oum El Bouaghi
- [10] Chapitre 4 « Les protocoles de routage dans les réseaux de capteurs sans fil »
- [11] Mounia LOURDIANE « CDMA à séquence directe appliqué aux communications optiques »
l'Ecole Nationale Supérieure des Télécommunications
- [12] Rhouma « Réseaux Mobiles Techniques d'accès multiples dans les réseaux cellulaires » École Supérieure d'Économie Électronique
- [13] Sarra MESSAI « Gestion de la Mobilité dans les Réseaux de Capteurs Sans Fil » l'Université Ferhat Abbas Sétif 1 et l'Université Claude Bernard Lyon 1
- [14] Melal Khireddine Analyse des méthodes d'égalisation des techniques CDMA » Université De Batna

- [15] Abbas Ibrahim « Protocoles d'accès multiple orientés qualité de service en constellation de satellite à orbite basse »
- [16] Melle KAZI TANI Shahrazade. Melle BENHADDOUCHE Wiam. « Implémentation et test d'un protocole de prévention de l'attaque Clone dans un réseau de capteurs sans fil » Université Abou Bakr Belkaid– Tlemcen
- [17] Hamouda Amina Dahmani Soumya « Simulation et Optimisation multicritère d'un modèle d'éclairage public d'une ville intelligente » Université Akli Mohand Oulhadj de Bouira
- [18] Hadjer MESSABIH SN-CAS : « Contribution des réseaux de capteurs à la conscience des contextes des systèmes » Université HADJ LAKHDAR – BATNA
- [19] Adel CHOUHA « Traitement et Transfert d'images Par Réseau de Capteurs sans Fil » Université Hadj Lakhdar Batna
- [20] MAAROUF Samia - OUADAH Souhila « Implémentation et évaluation des schémas de routage sur une plateforme réelle de réseaux de capteurs sans fil » Université Abou Bakr Belkaid– Tlemcen
- [21] Mme SARI Mounya Amal « ETUDE DU RSSI POUR L'ESTIMATION DE LA DISTANCE DANS LES RESEAUX DE CAPTEURS SANS FIL » Université Abou Bakr Belkaid–Tlemcen
- [22] Christian BISSIERES « ACQUISITION D'UNE GRANDEUR PHYSIQUE (Capteurs)
- [23] Messaoud BELLOULA « La géolocalisation dans les réseaux de capteurs sans fils » Université Hadj Lakhdar Batna.
- [24] Marc Gilg Accès, « routage et sécurisation pour les réseaux sans fil : une nouvelle approche » Université de Haute-Alsace
- [25] Olli Apilo Pasi Lassila Jorma Virtamo «Performance of Local Forwarding Methods for Geographic Routing in Large Ad Hoc Networks» *Helsinki University of Technology, P.O. Box 3000, FIN-02015 TKK, Finland
- [26] Mohammed ERRITALI Oussama Mohamed Reda Bouabid El Ouahidi «UML modelling of geographic routing protocol "Greedy Perimeter Stateless Routing" for its integration into the " Java Network Simulator »University Rabat Morocco
- [27] Brad Karp H. T. Kung «GPSR: Greedy Perimeter Stateless Routing for Wireless Networks»
- [28] Nathalie Mitton Zied chtourou « rooutage géographique multi-chemin basé sur l'intelligence d'essaim pour réseaux de capteurs et d'actionneurs sans fil : application aux smart grids » université de sfax ecole nationale d'ingénieur de sfax

[29] CHEKROUNE Ridha - CHELIK Mourad « Adaptation du protocole CSMA/CA pour la localisation des mobiles en temps réel ». Université Abderrahmane Mira-Bejaïa

[30] LECHANI Taous « Contribution à l'amélioration des performances dans les réseaux de communication »

UNIVERSITE M'HAMED BOUGARA-BOUMERDES

[31] Eddy Cizeron « Routage Multichemins et Codage à Description Multiple dans les Réseaux Ad Hoc » Université de Nantes

[32] Tony Ducrocq « Auto-organisation des réseaux sans-fil multi-sauts dans les villes intelligentes » Université de Lille

[33] Teck Aguilar Toward« a beaconless geographic routing with cooperative communications for wireless sensor networks Institut National des Telecommunications»

[34] Mohamed Essaid KHANOUCHE « Le traitement du problème de la couverture dans les réseaux de capteurs sans fil » Université Abderrahmane Mira de Bejaia

[35] Nadjet KHOULALENE « Regroupement avec équilibrage de charge dans les réseaux de capteurs sans fil » Université Abderrahmane Mira de Béjaïa

[36] Mme NAIT SALEM Assia née ARAB « Conception d'un protocole MAC pour la communication entre un réseau de capteurs sans fil et un satellite LEO Université Abderrahmane Mira de Béjaïa.

[37] Mehdi BOULAICHE « CONCEPTION ET MODÉLISATION D'UN PROTOCOLE DE ROUTAGE GÉOGRAPHIQUE POUR LES RÉSEAUX DE CAPTEURS SANS FILS» Université Abderrahmane Mira de Béjaïa.

[38] Mr Boubiche Djallel Eddine « protocole de routage pour les réseaux de capteurs sans fil Université de l'Hadj Lakhdar-Batna

[39] Fares KAHLESSENANE « Conception et modélisation d'un protocole intercouches pour les réseaux de capteurs sans fil Université Abderrahmane Mira de Bejaia

[40] M. Jackson FRANCOMME « Propositions pour un protocole déterministe de contrôle d'accès et de routage avec économie d'énergie dans les réseaux ZigBee » L'UNIVERSITE de TOULOUSE 7le Mirail École Doctorale Systèmes.

[40] BENINE Safa le routage multi-chemin dans les réseaux de capteurs sans fil Université Echahide Hamma Lakhdar El-oued

[41] Ian F. Akyildiz, «Georgia Institute of Technology, USA Wireless Sensor Network».

- [42] BENINE Safa le routage multi-chemin dans les réseaux de capteurs sans fil Université
- [43] <https://www.futura-sciences.com/tech/definitions/informatique-java-485/>
- [44] <https://latrach.net/les-caracteristiques-de-java>
- [45] <https://www.techno-science.net/definition/517.html>
- [46] <https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1016/j.aci.2019.10.001/full/html>