

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur
et de la Recherche Scientifique
Université Akli Mohand Oulhadj - Bouira -
Tasdawit Akli Muḥend Ulḥağ - Tubirett -



وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
جامعة أكلي محمد أولحاج
- البويرة -

Faculté des Sciences et des Sciences Appliquées

كلية العلوم والعلوم التطبيقية

Référence :/MM/2021

المرجع :م / م / 2021

Mémoire de Master

Présenté au

Département : Génie Électrique

Domaine : Sciences et Technologies

Filière : Télécommunications

Spécialité : Systèmes des Télécommunications

Réalisé par :

MEFTI Nabil

Et

BADJI Said

Thème

**Gestion de la qualité de service dans les réseaux de
capteurs sans fil**

Présenté le 06 /11/ 2021 devant le jury composé de :

Mr . ASRADJ Zahir

Président

Mme . SMAIL Houria

Examineur

Mr . HADJADJ Abdelkrim

Encadreur

Dédicaces 1

Ce modeste travail est

dédié à:

A celle qui a été toujours la source de grande affection ma

MERE

*A celui qui a été toujours la source d'inspiration, de courage a
tout le long de mes études.....mon PERE*

A tous mes frères et

sœurs

A toutes ma famille (MEFTI) et mes proches.

A tous mes amis sans exception.

*A toute la promotion système télécommunication 2020/2021 que
je leurs souhaite un bon avenir.*

*A tous ceux qui m'ont aidé de près ou de loin à la réalisation de
ce modeste travail*

MEFTI Nabil

Dédicaces 2

je dédie

Ce modeste travail à:

*celle qui a été toujours la source d'une grande affection pour
moi ma MERE*

*A celui qui a été toujours la source de courage tout le long de
mes études.....mon PERE*

*A tous mes frères et sœurs et toutes ma famille (BADJI) et mes
proches.*

*A tous mes amis sans exception et à toute la promotion système
de télécommunication 2020/2021 auxquels je souhaite un bon avenir.*

*A tous ceux qui m'ont aidé de près ou de loin à la réalisation de
ce modeste travail.*

BADJI Said

Remerciements

Je tiens premièrement à prosterner remerciant Allah le tout puissant de m'avoir donné le courage et la patience pour terminer ce travail.

*Nous voudrions exprimer nos vifs remerciements à notre encadreur **Mr. HADJADJ Abdelkrim**, pour ses orientations, ses encouragements, sa disponibilité et ses précieux conseils qui nous ont permis de mener à bien ce travail.*

Nous tenons à remercier les membres du jury qui ont bien voulu accepter de juger notre modeste travail.

Nos remerciements s'adressent également à tous les enseignants du département génie électrique ;

A la fin nos remerciements les plus sincères à toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à l'élaboration de ce mémoire ainsi qu'à la réussite de cette formidable année Universitaire...

Table des Matières

Remerciements	I
Résumé	II
Table des Matières.....	III
Liste des Figures.....	IV
Liste des Tableaux.....	V
Listes des Acronymes et Symboles	VI

Introduction Générale **1**

Chapitre 1 : Généralité sur les réseaux de capteurs sans fil

1. Introduction	3
2. Histoire des réseaux de capteurs sans fil	3
3. réseau informatique.....	3
4. Les réseaux sans fil	4
4.1. Définition.....	4
4.2. Classification des réseaux sans fil	4
4.2.1. Le mode avec infrastructure.....	4
4.2.2. Le mode sans infrastructure (Ad hoc)	5
5. Comparaison réseaux ad hoc et réseaux de capteurs sans fil	6
6. Les réseaux de capteurs sans fil	6
7. Les capteurs sans fil	7
7.1. Architecture d'un nœud capteur	7
7.2. Les composants d'un capteur sans fil	8
7.2.1. L'unité d'acquisition	8
7.2.2. L'unité de traitement	8
7.2.3. L'unité de communication	8
7.2.4. L'unité de contrôle d'énergie	8
8. Architecture protocolaire	9
9. Domaines d'Applications des réseaux de capteurs	11
9.1. Application militaire	11
9.2. Application médical	12
9.3. Applications environnementales.....	12
9.4. Applications commerciales	12
9.5. La domotique.....	12

9.6 .Applications agricoles.....	13
9.7. Applications à la sécurité	13
10. Les Facteurs et contraintes des RCSF.....	13
11. Qualité de service dans les réseaux de capteurs	15
12. conclusion	15

Chapitre 2 : Les protocole de routage et qualité de service dans les RCSFs

1. Introduction	16
2. Définition de la QoS	16
3. But de la QoS	16
4. Les paramètres de qualité de service QoS	17
4.1. La bande passante (ou débit binaire)	17
4.2. Le délai (ou latence).....	18
4.3. La perte de données.....	18
5. La QoS à différentes échelles.....	18
6. Qualité de service QoS dans les réseaux de capteurs	18
7. Garantie de la qualité de service dans les RCSF	19
7.1. Solutions MAC	19
7.2. Routage.....	19
7.3. Traitement des données	19
7.4. Cross-layer	20
8. Collecte d'informations dans les RCSFs	20
8.1. Collecte d'informations à la demande	20
8.2. Collecte d'informations suite à un événement	21
9. Protocoles de routage	21
10. Classification des protocoles de routage dans les RCSFs	22
10.1. Classification selon la structure du réseau	23
10.1.1 Protocoles De Routage Plat (Flat Routing)	23
10.1.2. Protocoles de Routage Hiérarchique	24
10.1.3. Protocoles de routage basés sur la localisation (géographique)	27
10.2. Classification selon établissement de route	28
10.2.1. Protocoles proactifs.....	28
10.2.2. Protocoles réactifs.....	28
10.2.3. Protocoles hybrides	28
10.3. Classification Selon la fonction du protocole	29
10.3.1. Routage basé sur la négociation	29
10.3.2. Routage basé sur les multi-chemins	29
10.3.3. Protocoles avec gestion de la QoS	30
11. Conclusion.....	32

Chapitre3 : Contribution protocole de routage LHCBM

1. Introduction	33
2. Motivation	33
3. Principe de LHCBM	34
4. Phases de LHCBM.....	35
4.1. Phase d'initialisation	35
4.1.1. Formation des niveaux	36
4.1.2. Formation des clusters	37
4.1.3. Election des chefs de clusters (head) CHs.....	38
4.2. Phase de routage des données avec LHCBM	43
4.2.1. Phase d'ordonnancement	43
4.2.2. Phase de transmission.....	44
5. Simulation et évaluation du protocole LHCBM.....	47
5.1. Aperçu sur les simulateurs des réseaux de capteurs.	47
5.2. Les paramètres de la simulation.	48
5.3. Distribution des nœuds.....	49
5.4. Sélection des Clusters et les Clusters Heads.	49
5.5. Le chemin de transfert de paquets ver SB.....	50
6. Evaluation des résultats.....	50
6.1. L'énergie consommée.	50
6.2. Nombre de paquets délivrés à la BS.	51
6.3. comparative des trois protocoles (CMPPR, SAR et LHCBM.....	52
7. Conclusion.....	53
Conclusion Générale.....	54

Liste des Figures

Fig. 1.1. Le modèle de réseaux mobiles avec infrastructure.....	5
Fig. 1.2. Réseau mobile Ad Hoc.	6
Fig. 1.3. Quelques capteurs existants sur le marché.....	7
Fig. 1.4. Architecture d'un nœud capteur.	7
Fig. 1.5. Les composants d'un nœud capteur.....	9
Fig. 1.6. La plie protocolaire des réseaux de capteurs sans fil.....	11
Fig. 1.7. Tracé du chemin d'un véhicule militaire	11
Fig. 1.8. Les RCSFs pour les applications sanitaires.	12
Fig. 1.9. Domaines d'applications des réseaux de capteurs sans fil.....	13
Fig. 2.1. Les paramètres de qualité de service QoS.....	17
Fig. 2.2. Collecte d'informations à la demande	21
Fig. 2.3. Collection orientée événement	21
Fig. 2.4. Les différentes approches de routage dans les RCSFs	22
Fig. 2.5. Topologie plate.....	23
Fig. 2.6. Le routage hiérarchique	24
Fig. 2.7. Algorithme de routage LEACH.....	25
Fig. 2.8. Topologie basée sur la localisation	27
Fig. 3.1. Les Phases de protocole LHCBM.	35
Fig. 3.2. Formation des niveaux.....	37
Fig. 3.3. Formation des clusters	38
Fig. 3.4. Découverte du voisin	39
Fig. 3.5. Phase calculer la condition Pch	41
Fig. 3.6. Élection du cluster head temporaire	41
Fig. 3.7. Phase d'élection de cluster-head	42
Fig. 3.8. Élection à nouveau de cluster-head.	43
Fig. 3.9. Phase d'ordonnancement TDMA.....	44
Fig. 3.10. Communication intra-cluster, avec technique TDMA.....	45
Fig. 3.11. Diviser le réseau on deux cotés	46
Fig. 3.12. Communication avec le millier chemin	47
Fig. 3.13. Visualisation de la topologie du réseau.....	49
Fig. 3.14. Visualisation du réseau après la sélection des clusters et CHs.....	49
Fig. 3.15. Le chemin de routage des paquets avec cluster-heads.....	50
Fig. 3.16. L'énergie consommée au fil de temps	51
Fig. 3.17. Nombre de paquets délivrés à la BS	52

Liste des Tableaux

Tab.1.1. Les générations des nœuds de capteurs.....	3
Tab.3.1. Les paramètres de la simulation.....	48
Tab.3.2. Etude comparative des trois protocoles (CMPRP, SAR et LHCBM).....	52

Listes des Acronymes et Symboles

• Acronymes

GSM	Global System for Mobile
SB	Station de Base
UM	Unités mobiles
WPAN	Wireless Personal Area Network
RAM	Random Access Memory
OSI	International Organisation for Standardisation
MAC	Medium Access Control
DMAC	Destination Media Access Control
DB-MAC	Data base Media Access Control
RCSF	Réseau de Capteurs Sans Fil
QoS(QoS)	Qualité of service (qualité de service)
ISO	International Organisation for Standardisation
LEACH	LowEnergy Adaptive TierClusteringHierarchy
ECBDA	Energy-Efficient Cluster Based Data Aggregation for Wirless Sensor Networks
GPS	Global Positioning System
EUI	End-system Unique Identifier
LDA	Location DependAddress
GSR	Global State Routing
DSR	Dynamic Source Routing
ZRP	Zone Routing Protocol
SPIN	Sensor Protocols for Information via Négociation
AOMDV	Ad-hoc On-demand Multipath Distance Vectorprotocol
SAR	Sequential Assignement Routing
MCPF	Minimum Cost Path Forwarding
ADV	Advertisement
RPAR	Real-time Power-AwareRouting
CH	Cluster-Head
TDMA	Time Division Multiple Access

Introduction Générale

L'utilisation des capteurs dans divers domaines d'applications, n'est pas une idée nouvelle. Cependant, les anciennes installations des capteurs étaient entièrement câblées. Cela pose plusieurs problèmes techniques comme l'inflexibilité, le coût élevé d'installation, la difficulté d'utilisation sur les appareils mobiles ou rotatifs, la difficulté du passage à l'échelle, etc. Ainsi, la technologie des réseaux de capteurs sans fil (RCSF) a été proposée comme une solution alternative aux capteurs câblés dans l'optique de profiter de ses avantages, notamment l'aspect sans fil. Néanmoins, les RCSF héritent aussi tous les problèmes de la communication sans fil, notamment ceux liés à l'accès au médium, comme la faible fiabilité de la communication sans fil et la qualité de service (QoS), le problème du terminal caché et du terminal exposé.

La qualité de service (QoS) est l'un des concepts les plus importants dans les réseaux modernes. Elle est de plus en plus, exigée à cause de l'intégration de plusieurs services ayant des besoins différents dans le même réseau. Dans un réseau de capteurs sans fil, les nœuds utilisent généralement une application unique. Les trafics en provenance des différents nœuds peuvent avoir des priorités différentes. Cette diversité de trafics dans le réseau nécessite, d'une part, un traitement différencié selon les besoins spécifiques de chaque type de trafic et d'autre part, la satisfaction des besoins des applications. Dans le cadre des réseaux de capteurs sans fil, la problématique devient encore plus complexe à cause des contraintes intrinsèques dans RCSF. La gestion de la bande passante, le délai ou la latence, la perte de données et la communication sans fil peuvent être fiable, la densité importante et la nature distribuée des nœuds représentent les principaux enjeux pour le développement de tout protocole de communication. Bien évidemment, à cause de ces contraintes, la garantie de la QoS dans un réseau de capteurs sans fil pose des problèmes de recherche impérative. Ainsi il est difficile d'appliquer directement les techniques utilisées dans les réseaux les plus proches au niveau de leurs architectures et mode de communication sans fil. Tous les mécanismes et protocoles doivent être adaptés et simplifiés pour qu'ils soient compatibles avec les contraintes de ressources d'un RCSF.

Parmi les nombreuses solutions existantes pour améliorer la qualité de service surtout le délai et la perte de paquets dans les RCSFs. L'une des plus reconnue est l'organisation hiérarchique du réseau en clusters. Chaque cluster est sous la gestion d'un nœud chef appelé Cluster- Head (*CH*). Dans cette organisation, les nœuds d'un cluster envoient leurs données directement au CH correspondant. Le CH collecte les données des autres nœuds, les agrège pour ensuite les transmettre directement à la SB ou éventuellement à d'autres CHs. Ainsi, seuls certains nœuds du RCSF sont amenés à transmettre des données sur une longue distance, tandis que le reste devra veiller à transmettre que sur une courte distance, cela crée des problèmes, le délai de transmission des paquets. De cette manière, le clustering favorise une meilleure solution pour

convertir les données entre les capteurs, réduire le temps d'arrivée des données et la perte de paquets. L'objectif de ce mémoire consiste à étudier et à proposer des algorithmes distribués permettant d'apporter une solution aux problèmes liés à la gestion de qualité de service pour les réseaux de capteurs sans fil. Nous nous sommes également attachés au problème du maintien de connectivité et aussi la latence.

Nous avons proposé un algorithme distribué LHCBM (*Level Hierarchical Clustering based Balancing Multipath routing protocol*) qui peut être adapté facilement aux réseaux avec le passage à l'échelle, et qui a pour objectif la gestion de qualité de service et améliorer des performances efficaces et fiables sans dégrader la connectivité entre les nœuds. L'algorithme est basé sur la répartition des clusters-heads et sur le contrôle des chemins. Périodiquement chaque nœud adapte sa transmission des données en se basant sur les informations de son voisinage à des sauts.

Notre contribution a introduit le mécanisme de la réalisation d'une bonne distribution des clusters-heads dans le modèle de réseaux et pour améliorer les performances en termes de durée par la réduction du signal de transmission et les messages de contrôle. Le protocole proposé est un protocole efficace pour assurer l'accès aux paquets et la facilité d'échange entre les membres du réseau et augmenter la fiabilité des chemins utilisés dans la transmission des données.

Ce mémoire s'organise en trois chapitres :

Le premier chapitre, présente des généralités sur la technologie des réseaux de capteurs sans fil, les classifications des réseaux sans fil et les composants d'un capteur sans fil avec ses domaines d'application.

Dans le deuxième chapitre, nous proposons le but de la qualité de service, les Paramètres et mécanismes de gestion la qualité de service utilisés pour assurer dans RCSF, Nous avons présenté les protocoles de routage et ses différentes classifications dans RCSF, plus un ensemble des protocoles préférés proposés pour améliorer les performances de la qualité de service.

Le troisième chapitre, sera consacré à la conception détaillée du protocole LHCBM proposé, Ce chapitre a pour objectif d'étudier une proposition de protocole de routage distribué, minimiser les paquets perdus et augmenter la fiabilité du réseau avec une agrégation hiérarchique des données, une auto- organisation des nœuds, nous avons étudié une conception détaillée du LHCBM et les deux phases proposées avec une description bien organisée, de toutes les différentes sous phases. Ensuite les performances des propositions ont été évaluées par un simulateur MATLAB. Nous traçons les résultats obtenus à l'aide des graphiques que nous révélions et interprétons. Nous comparons les performances entre différents protocoles, en prenant en compte de nombreuses métriques, la connectivité des nœuds, les paquets envoyés et reçus, l'énergie moyenne, la fiabilité des données, etc.

Chapitre 1: Généralité sur les réseaux de capteurs sans fil

1. Introduction :

De nombreux systèmes doivent envisager l'environnement des phénomènes physiques pour prendre les décisions nécessaires. Le programme des dernières années dans la microélectronique et la micromécanique a permis de plus en plus aux capteurs d'être plus efficaces, des compétences autonomes et énergétiques ont évolué au fil du temps. D'autre part, les techniques de réseau mobile permettent aux fils francs et donc de distribuer facilement des capteurs dans des zones également difficiles à accéder.

L'objectif de ce chapitre est de donner d'abord une vue générale sur les réseaux de capteurs sans fil, en présentant leurs domaines d'application, architectures, caractéristiques et contraintes et les technologies utilisées. Cette description nous permet de connaître la particularité des protocoles de routage conçus pour ce type de réseaux.

2. Histoire des réseaux de capteurs sans fil :

Les progrès récents sur les nouvelles techniques ont entraîné une importance énorme dans le domaine des réseaux sans fil. La technologie des réseaux de capteurs est devenue l'une des merveilleuses technologies du 21^{ème} siècle, les mineurs des capteurs ont montré leur impact sur notre vie quotidienne [01].

Grâce à la progression des techniques sans fil, les réseaux de capteurs sont immédiatement dans notre vie quotidienne, tels que des ordinateurs et internet.

On présente trois générations de nœuds de capteur:

Génération	Période	Taille	Poids	Batterie
1 ^{ère}	Les années 80 et 90	Grande boîte à chaussures	Kg	Grosse
2 ^{ème}	Entre 2000 et 2003	Boîte de cartes	G	AA
3 ^{ème}	2010	Particule de poussière	Négligeable	Solaire

Tableau 1. 1. Les générations des nœuds de capteurs [01].

3. Réseaux informatique :

Certains acteurs, économies, nœuds ou sites Web de communication à travers lesquels des messages circulent. Les informations sont concentrées et distribuées, parlons d'un réseau.

Un réseau d'ordinateurs est une série d'appareils connectés à l'autre pour l'échange d'informations. Analogie avec un réseau (*réseau est un "petit défi", c'est-à-dire un petit réseau*), le nœud s'appelle la fin d'un composé pouvant être intersecté à partir de plusieurs liens (*ordinateurs, routeur, concentrateur*).

L'infrastructure ou les colonnes peut être dans des câbles dans les signaux électriques, la circulation, l'atmosphère (*ou l'espace vide*), où les ondes radio ou les fibres optiques propagent les ondes lumineuses. Ils permettent des périphériques "physiques" avec la liaison du composé de l'agent physique défini par les protocoles. L'équipe de réseau est directement ou non connectée à l'autre, selon certaines organisations standard appelées Topologie du réseau. Les restrictions d'applications nécessitent souvent l'utilisation de cette topologie [02].

Un protocole de communication normalisée est définie par la manière dont les informations entre le périphérique réseau sont échangées, ce sont des méthodes qui contrôlent le flux d'informations entre deux périphériques. Le logiciel spécifique qui gère ces protocoles sera installé sur des périphériques de connexion, tels que les commutateurs de réseau, les routeurs, les interrupteurs téléphoniques, les antennes GSM, etc.

4. Les réseaux sans fil :

4.1. Définition :

Un réseau sans fil est donc un réseau qui permet de connecter différents nœuds sans l'aide d'une connexion physique mais qui établit la communication par des ondes électromagnétiques. La transmission et la réception des données ont besoin de dispositifs agissant comme des ports.

4.2. Classification des réseaux sans fil :

Dans les réseaux sans fil, on distingue deux modes opératoires :

4.2.1. Le mode avec infrastructure :

Un réseau mobile avec infrastructure est composé des sites mobiles. Il permet à ses utilisateurs d'accéder à l'information indépendamment de leurs positions géographiques. Dans cette classe, on distingue deux ensembles d'entités distinctes, les sites fixes d'un réseau de communication filaire classique (*wired network*) et les sites mobiles (*wireless network*) . Certains sites fixes, appelés stations de support mobile (*Mobile Support Station*) ou stations de base (SB), sont munis d'une interface de communication sans fil pour la communication directe avec les sites ou les unités mobiles (UM) localisés dans une zone géographique limitée, appelée cellule.

Chaque station de base correspond une cellule à partir de laquelle des unités mobiles peuvent émettre et recevoir des messages. Alors que les sites fixes sont interconnectés entre eux à travers

un réseau de communication filaire, qui se caractérise généralement par sa fiabilité et son débit élevé, par contre, les liaisons sans fil ont une bande passante limitée qui réduit sévèrement le volume des informations échangées.

Dans ce modèle, une unité mobile ne peut être, à un instant donné, directement connectée qu'à une seule station de base. Elle peut communiquer avec les autres sites à travers la station laquelle elle est directement rattachée. L'autonomie réduite de sa source d'énergie, lui occasionne de fréquentes déconnexions du réseau, sa reconnexion peut alors se faire dans un nouveau environnement voire dans une nouvelle localisation [03].

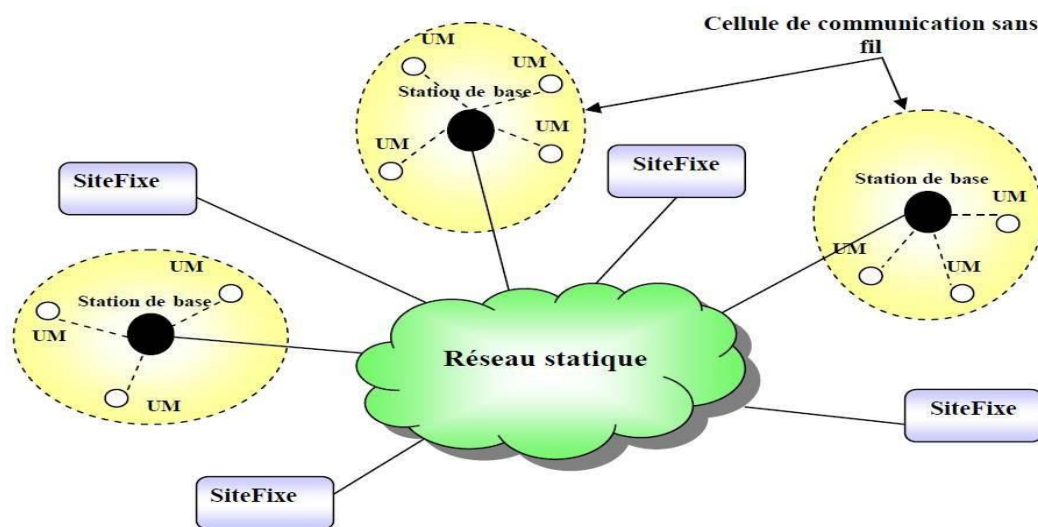


Figure 1.1 : Le modèle de réseaux mobiles avec infrastructure [03].

4.2.2. Le mode sans infrastructure (Ad hoc) :

En mode ad hoc, il n'y a pas de point d'accès fixe, l'infrastructure est composée des nœuds, ce dernier effectue à la fois le rôle des bornes et des routeurs à transmettre le passage des informations d'un terminal à un autre sans ces terminaux de connexion directement. La caractéristique essentielle d'un réseau ad-hoc est l'existence d'un routage dynamique dans chaque nœud. Ceci est la catégorie des réseaux WPAN, tels que Bluetooth.

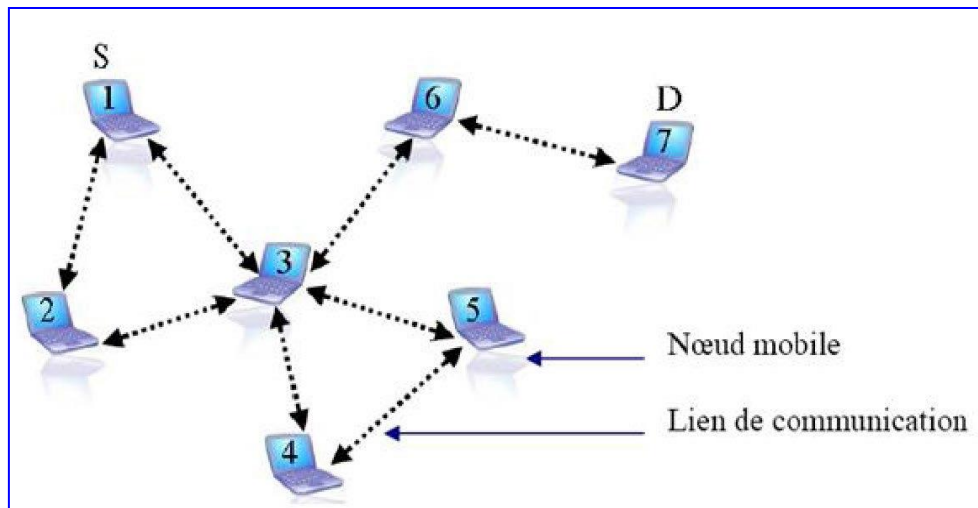


Figure 1.2 : Réseau mobile Ad Hoc [03].

5. Comparaison entre les réseaux ad hoc et les réseaux de capteurs sans fil :

Les réseaux de capteurs sans fil sont apparentés aux réseaux ad hoc. En effet, ces deux types de réseaux ont de nombreux points communs :

- Réseaux sans infrastructure.
- Architecture décentralisée.
- Autonomie.
- Utilisation d'ondes radio pour communiquer.

Les points de différence entre les deux réseaux sont:

- La densité des nœuds déployés est beaucoup plus importante dans les réseaux de capteurs.
- Les nœuds capteurs ont des capacités limitées en énergie et en mémoire.
- La topologie des réseaux de capteurs change très fréquemment.
- Dans un réseau de capteurs, la communication entre les nœuds se fait par diffusion et non pas point à point.
- Les capteurs peuvent ne pas avoir un identifiant global à cause du grand nombre de nœud.

6. Les réseaux de capteurs sans fil :

Les réseaux de capteurs sans fil sont considérés comme un type spécial de réseaux ad hoc dans lesquels l'infrastructure de communication fixe et l'administration centralisée sont absentes et les nœuds jouent, en même temps, le rôle des hôtes et des routeurs. Ce type de réseau est constitué d'une série de micro-capteurs dispersés au hasard par une zone géographique qui définit le terrain d'intérêt au phénomène capturé. Les micro-capteurs mis en œuvre sont capables de surveiller, de manière continue, une grande variété de conditions environnementales telles que la température, l'humidité et la détection de la survenue d'événements tels que des tremblements de terre. Malgré leur capacité limitée de la capacité et du traitement des données, ce qui n'est qu'une

conséquence de leur taille miniaturisée, les composants de communication sans fil intégrés à ces capteurs leur permettent de collaborer et de coordonner entre eux afin de créer des tâches d'acquisition complexes [03].

7. Les capteurs sans fil :

Un capteur c'est un petit dispositif indépendant capable de compléter des mesures simples dans votre environnement immédiat, telles que la température, la vibration et la pression. Cet appareil augmente les capacités de calcul et de communication, ainsi que les batteries qui lui donnent de l'autonomie.

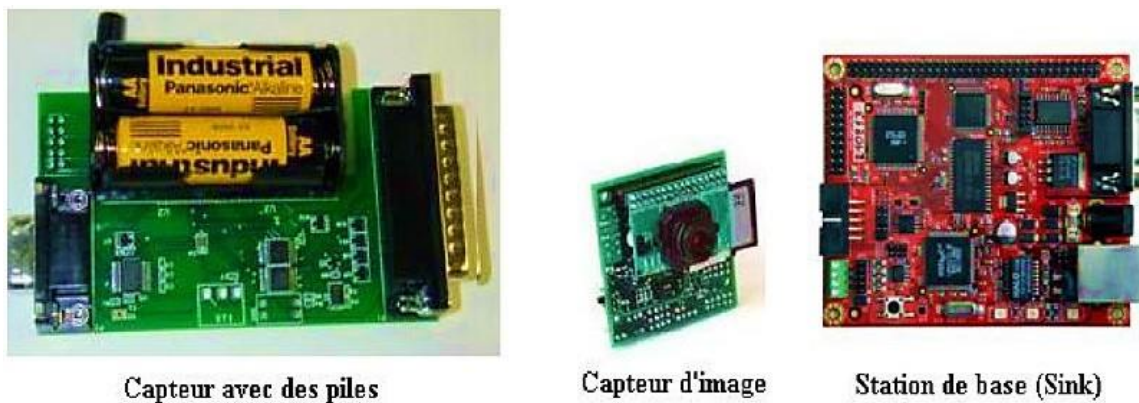


Figure1.3 : Quelques capteurs existants sur le marché [03].

7.1. Architecture d'un capteur sans fil :

Les nœuds capteurs sont souvent dispersés dans une zone géographique, appelée champs de capture qui définit la zone d'intérêt pour le phénomène observé. Les données captées sont acheminées au point. Les stations de base possèdent beaucoup plus de capacités que les capteurs tant au niveau de la mémoire que de la vitesse de traitement ou des réserves en énergie.

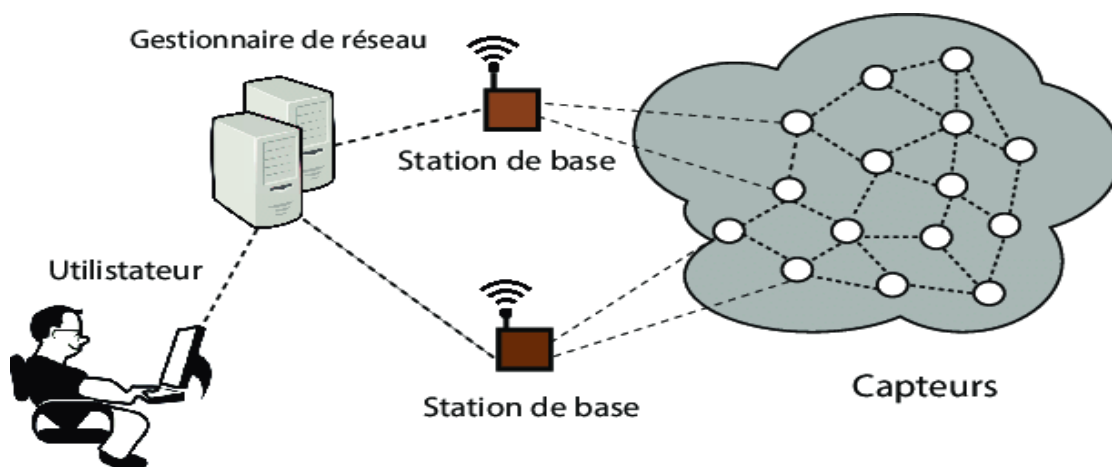


Figure1.4 : Architecture d'un réseau de capteur [04].

7.2. Les composants d'un capteur sans fil :

Un capteur sans fil permet de mesurer des grandeurs physiques ou des paramètres d'usage (*détection*) afin d'évaluer ou contrôler l'environnement, mais également de communiquer avec d'autres entités. L'architecture matérielle d'un nœud est alors constituée de plusieurs blocs fonctionnels qui sont représentés sur la figure 1.5.

7.2.1. L'unité d'acquisition :

L'unité d'acquisition est composée d'un ensemble de capteurs et de convertisseurs analogiques numériques. Le capteur est généralement composé de deux unités: le récepteur (*reconnaissant l'analyste*) et le transducteur (*conversion du signal de signal en un signal électrique*), le capteur obtiendra des mesures numériques dans les paramètres environnementaux et un convertisseur analogique numérique qui convertira les informations d'information et inverser l'unité de traitement [05].

7.2.2. L'unité de traitement :

L'unité de traitement est composée de deux interfaces, une interface pour l'unité de détection et une interface pour l'unité de communication. Cet appareil consiste également en un processeur et un système d'exploitation spécifiques. La carte physique avec le système d'exploitation est utilisée pour fonctionner.

Cela a le cœur du bloc constitué du processeur et de la RAM et des mémoires flash. Direction des informations de l'unité de détection et l'envoyer à l'unité de communication [05].

7.2.3. L'unité de communication :

L'unité de transmission est responsable des émissions et des réceptions de données par la communication radio. Par conséquent, l'équipe utilisée est donc généralement équipée de la radio, ainsi qu'une antenne.

7.2.4. L'unité de contrôle d'énergie :

C'est la batterie qui est généralement irremplaçable. La capacité d'énergie limitée au niveau du capteur, la principale contrainte lors de la conception de protocoles de réseaux déclinés. Les unités d'énergie peuvent être compatibles avec des photos pile qui permettent la puissance de la lumière dans le courant électrique .

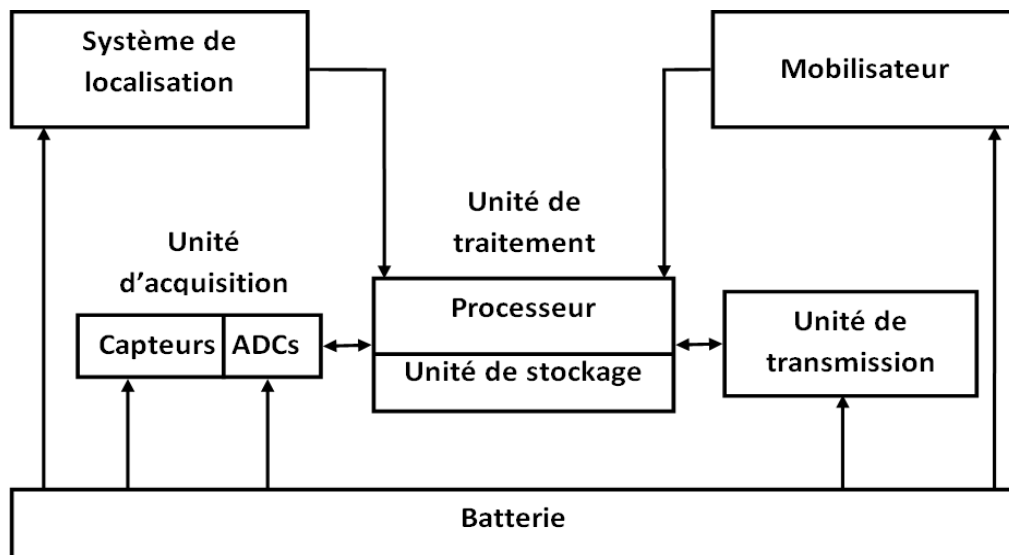


Figure 1.5 : Les composants d'un nœud capteur.

8. Architecture protocolaire :

La pile protocolaire utilisée par la station de base ainsi que par tous les capteurs du réseau comprend 5 couches (*une couche application, une couche de transport, une couche de réseau, une couche de liaison de données et une couche physique*) qui ont les mêmes tâches que celles du modèle OSI, et trois niveaux ou plans (*un plan de gestion d'énergie, un plan de gestion de mobilité et un plan de gestion des tâches*).

La couche application :

Représente les différentes applications et pilotes de codage, collection, agrégation, compression, etc. elle assure l'interface avec les applications. C'est le niveau le plus proche des utilisateurs, géré directement par les logiciels.

La couche transport :

Est chargée du transport des données, contribue au maintien du flux si c'est nécessaire (*contrôle de flux, gestion des éventuelles erreurs de transmission non corrigée au niveau deux, etc.*), au découpage des données en paquets, ainsi que la conservation de l'ordre des paquets.

La couche réseau :

S'occupe de l'acheminement des données fournies par la couche transport : routage, relayage, etc. Le protocole de routage est le principal acteur dans cette couche réseau, il permet de trouver une route et une transmission performante des données. Plusieurs nouveaux algorithmes de routage ont été conçus pour les problèmes de routage dans les réseaux capteurs (*optimisation de l'utilisation de l'énergie des capteurs, gestion des trafics, etc.*).

La couche liaison de données :

Spécifie comment les données sont expédiées entre deux nœuds dans une distance d'un saut. Cette couche s'occupe du multiplexage des données, elle s'occupe aussi de la méthode d'accès au canal, du contrôle de puissance de la retransmission, du contrôle d'erreurs. Cependant, elle assure la liaison point à point et multipoint dans réseau de communication. Le protocole MAC dans cette couche liaison doit tenir compte de la consommation d'énergie et doit être en mesure de réduire les collisions.

La couche physique :

Est relative à la technologie ou l'architecture utilisée, la modulation, la technique de transmission et de réception, le contrôle de puissance, le codage, le filtrage, etc.

Le plan de gestion d'énergie :

Permet de contrôler la consommation d'énergie, les mouvements, la répartition des tâches entre les nœuds capteurs. Ces plans permettent aux nœuds capteurs de coordonner les tâches et de réduire l'ensemble de la consommation d'énergie. Ces plans ont un rôle important pour la gestion des nœuds, pour que les nœuds puissent collaborer, pour l'acheminement des données à travers un réseau mobile et pour le partage des ressources .

Le plan de gestion de mobilité :

Dans le rôle de connaître et d'enregistrer les mouvements du nœud capteurs de manière à lui permettre de garder continuellement une route vers l'utilisateur final. Cela permet de faciliter le choix du chemin optimal de donnée puisqu'il a la responsabilité de maintenir une image récente sur la position des nœuds voisins. Cette image récente des nœuds voisins est également utile pour le plan de gestion de tâche.

Le plan de gestion des tâches :

Applicatives collabore avec le plan de gestion d'énergie. C'est lui qui permet l'équilibre et l'ordonnancement des différentes tâches d'acquisition faites par les nœuds dans la zone de captage ciblée. Il n'est pas nécessaire que tous les nœuds dans cette région effectuent la tâche d'acquisition simultanément, certains nœuds peuvent la faire plus que d'autres suivant le niveau de batterie.

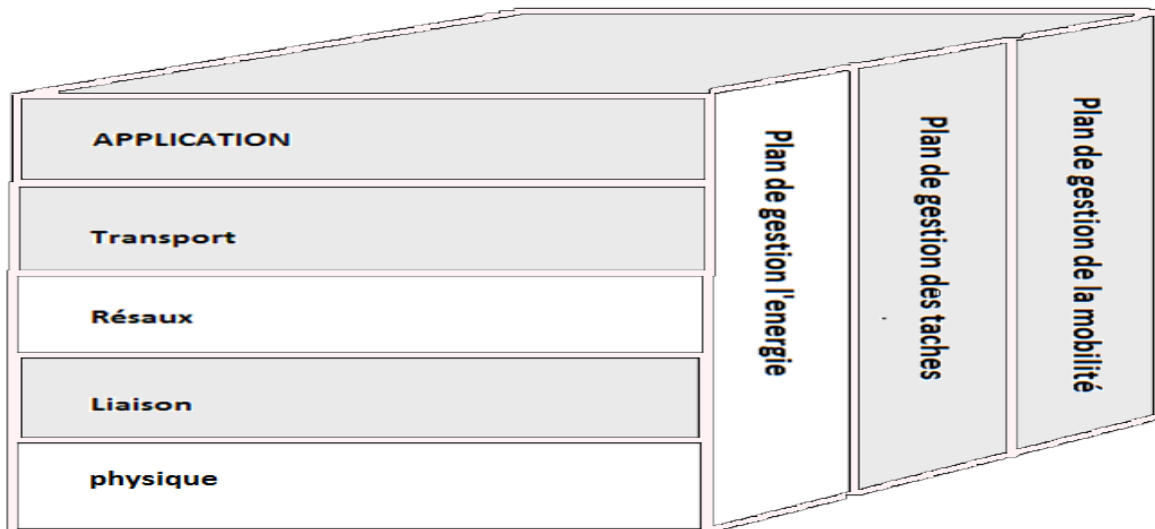


Figure1.6 : La plie protocolaire des réseaux de capteurs sans fil.

9. Domaines d'Applications des réseaux de capteurs:

La miniaturisation des micro-capteurs, le coût de plus en plus faible, la large gamme des types de capteurs disponibles (*thermique, optique, vibrations, etc.*) ainsi que le support de communication sans fil utilisé, permettent l'application des réseaux de capteurs dans plusieurs domaines.

9.1. Application militaire:

Comme pour de nombreuses autres technologies, le domaine militaire a été le moteur initial pour le développement des réseaux de capteurs. Le déploiement rapide, le coût réduit, l'auto-organisation et la tolérance aux pannes des réseaux de capteurs sont des caractéristiques qui font de ce type de réseaux un outil appréciable dans un tel domaine. Actuellement, les RCSF peuvent être une partie intégrante dans le commandement, le contrôle, la communication, la surveillance, la reconnaissance [06].



Figure 1.7 : Tracé du chemin d'un véhicule militaire [07].

9.2. Application médical:

Les réseaux de capteurs sont également largement répandus dans le domaine médical. Cette classe inclut des applications comme : fournir une interface d'aide pour les handicapés, collecter des informations physiologiques humaines de meilleure qualité, facilitant ainsi le diagnostic de certaines maladies, surveiller en permanence les malades et les médecins à l'intérieur de l'hôpital [06].

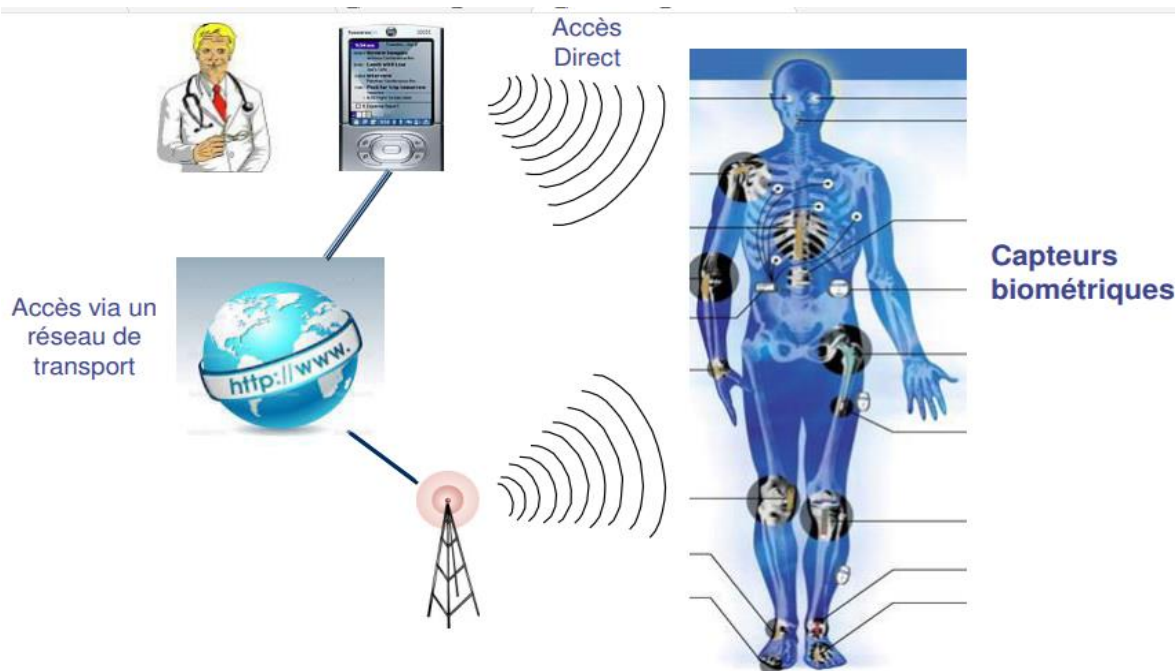


Figure1.8 : Les RCSFs pour les applications sanitaires.

9.3. Applications environnementales :

Dans ce domaine, les capteurs peuvent être exploités pour détecter les catastrophes naturelles (*feux de forêts, tremblements de terre, etc.*), détecter des fuites de produits toxiques (*gaz, produits chimiques, pétrole, etc.*) dans des densités industrielles tels que les centrales nucléaires et les pétrolières [06].

9.4. Applications commerciales:

Parmi les domaines dans lesquels les réseaux de capteurs ont aussi prouvé leur utilité, on trouve le domaine commercial. Dans ce secteur on peut énumérer plusieurs applications comme la surveillance de l'état du matériel, le contrôle et l'automatisation des processus d'usinage.

9.5. La Domotique :

La domotique est un secteur en croissance qui est aussi bien adapté pour la technologie sans fil. Avec le développement technologique, les capteurs peuvent être embarqués dans des appareils, tels que les aspirateurs, les fours à micro-ondes, les réfrigérateurs, Ces capteurs

embarqués peuvent interagir entre eux et avec un réseau externe via internet pour permettre à un utilisateur de contrôler les appareils domestiques localement ou à distance.

9.6. Applications agricoles:

Dans le domaine de l'agriculture, les capteurs peuvent être utilisés pour réagir convenablement aux changements climatiques par exemple le processus d'irrigation lors de la détection de zones sèches dans un champ agricole [08].

9.7. Applications à la sécurité:

L'application des réseaux de capteurs dans le domaine de la sécurité peut diminuer considérablement les dépenses financières consacrées à la sécurisation des lieux et des êtres humains. Ainsi, l'intégration des capteurs dans de grandes structures telles que les ponts ourles bâtiments aidera à détecter les fissures et les altérations dans la structure suite à un séisme ou au vie glissements de la structure [08].



Figure1.9 : domaines d'applications des réseaux de capteurs sans fils.

10. Les Facteurs et contraintes 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.

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 .

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.

Média du transport :

Dans un réseau de capteurs, la communication multi sauts entre les nœuds est réalisée avec des liens sans fil à l'aide de media optique, infrarouge ou radio. La plus part des réseaux de capteurs utilisent des circuits de communication à radio fréquence grâce à leur faible coût ainsi que leur facilité d'installation .

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 nodales et nécessite que la station de base soit équipée de mémoire suffisante pour stocker les informations reçues .

La consommation d'énergie :

L'économie d'énergie est une des problématiques majeures dans les réseaux de capteurs. En effet, la recharge des sources d'énergie est souvent trop coûteuse et parfois impossible. Il faut donc que les capteurs économisent au maximum l'énergie afin de pouvoir fonctionner.

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 utilisée pour réduire la transmission d'informations redondantes est l'agrégation des données. Avec cette technique, les nœuds intermédiaires agrégeant l'information reçue de plusieurs sources. Cette technique est connue aussi sous le nom de fusion de données.

11. Qualité de service dans les réseaux de capteurs :

La qualité de service (*QoS*) ne fait pas partie des axes d'intérêt des chercheurs, mais depuis l'émergence des réseaux de capteurs, les principaux travaux de recherche se sont concentrés sur la gestion des données issues des capteurs, la gestion de l'énergie et le routage, ce qui est important pour la bonne exploitation de ces réseaux [08].

12. conclusion :

Un réseau de capteurs est une collection de capteurs déployés dans une zone de capture pour prélever des mesures physiques.

Dans ce chapitre, nous avons présenté les réseaux de capteurs sans fil et les nœuds capteurs en parlant sur l'architecture et les composants d'un capteur sans fil , ainsi que leurs applications dans les différents domaines de la vie. et procédé les facteurs et contraintes des RCSF, nous intéressons la qualité de service(QoS) qui sera le sujet que présenté d'un notre prochain chapitre.

Chapitre 2 : Les protocoles de routage et qualité de service dans les RCSFs

1. Introduction :

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 étant donné la diversité de ces applications : santé, environnement, industrie et même dans le domaine sportif. Contrairement aux réseaux traditionnels qui se préoccupent de garantir une bonne qualité de service, les réseaux de capteurs doivent, en plus, prendre en compte la conservation d'énergie.

Dans ce chapitre nous allons détailler les concepts liés aux réseaux de capteurs sans fil à savoir la qualité de service, les protocoles de routage dans ces réseaux.

2. Définition de la QoS:

La Qualité de service (*Quality of Service QoS*) comme étant l'Ensemble des caractéristiques d'un service de télécommunication qui lui permettent de satisfaire aux besoins explicites et aux besoins implicites de l'utilisateur du service. Une caractéristique est définie comme étant la propriété qui aide à faire la distinction entre les individus d'une population donnée.

La Qualité de Service (*QoS*) est la capacité à véhiculer dans de bonnes conditions un type de trafic donné, en termes de disponibilité, débit, délais de transmission, taux de perte de paquets, et regroupe un ensemble de technologies mises en œuvre pour assurer des débits suffisants et constants sur les réseaux, y compris internet [09].

La Qualité de Service est une notion subjective. Selon le type d'un service envisagé, elle pourra résider dans le débit (*Un débit permet de mesurer le flux d'une quantité relative à une unité de temps au travers d'une surface quelconque.*), le délai (*pour les applications interactives ou la téléphonie*), la disponibilité (*accès à un service partagé*) ou encore le taux de pertes de paquets (*pertes sans influence*).

3. le But de la QoS :

En générale le but de la QoS c'est l'optimisation des ressources dans un réseau et elle permet d'offrir aux utilisateurs des débits et des temps est un concept développé pour représenter la variation du monde, l'univers n'est jamais figé, les éléments qui le composent bougent, se transforment et évoluent pour l'observateur qui est l'homme. Si on considère l'univers de réponse différenciés par application suivant les protocoles mis en œuvre au niveau de la couche réseau.

Elle permet ainsi aux fournisseurs de services (*départements réseaux des entreprises, opérateurs...*) de s'engager formellement auprès de leurs clients sur les caractéristiques de transport [10].

Selon le type d'un service envisagé, la qualité pourra résider :

- Le débit (*téléchargement*).
- Le délai (*pour les applications ou la téléphonie*).
- La disponibilité (*accès à un service partagé*).
- Le taux de pertes de paquets.

4. Les paramètres de qualité de service QoS :

Il y a plusieurs paramètres dans la qualité de service on peut citer trois axes fondamentaux. voir la figure suivante :



Figure 2.1 : Les paramètres de qualité de service QoS

4.1. La bande passante (*débit binaire*):

La bande passante C'est la quantité de données pouvant être transmise durant un laps de temps. Le plus souvent, elle est mesurée en nombre de bits/seconde (*bits par seconde, - bps*) ou un de ses ordres de grandeur: kilobits par seconde ou Kbps, mégabits par seconde ou Mbps, gigabits par seconde ou Gbps, etc. La bande passante est un paramètre clé de la vitesse de transmission des données, plus la bande passante est élevée, plus la transmission d'un fichier sera rapide. Ce paramètre est également crucial pour les applications temps réel.

La contrainte de bande passante est donc une valeur seuil de bande passante disponible sous laquelle il ne faut pas descendre [11].

4.2. Le délai (ou latence) :

C'est le temps qui sépare l'émission d'un paquet de données de l'arrivée à sa destination. Il est mesuré en secondes ou un de ses ordres de grandeur (*de quelques millisecondes pour les transmissions nécessitant une très grande réactivité à plusieurs minutes pour les applications tolérantes aux délais*). Une contrainte de délai définit un temps maximum à ne pas dépasser pour tous les paquets. Les applications temps réel et interactives sont très sensibles au délai. Par exemple un jeu vidéo en ligne nécessite un délai très court (*non perceptible par les joueurs*) pour garantir la fluidité de l'interaction entre les joueurs et avec le jeu [11].

4.3. La perte de données :

C'est le nombre de paquets perdu par rapport au nombre de paquets émis, le taux de perte est la proportion des paquets qui ne parviennent pas à leur destination.

Ces services sont aussi sensibles aux autres critères de QoS. Les services (*interactifs*) sont particulièrement exigeants en termes de délais, il faut que le service réagisse au plus vite à l'action de l'utilisateur [12].

5. La QoS à différentes échelles:

La question de la QoS dans les réseaux de capteurs sans fils peut être abordée à différentes échelles: interne, locale et globale. Pour garantir la QoS, il faut, dans tous ces cas, mesurer différents paramètres caractéristiques des performances du réseau tels que la bande passante disponible, le délai de transmission et la fiabilité.

- **interne** : intégration au niveau de la couche MAC du modèle OSI de chaque nœud du Réseau.
- **locale** : intégration au niveau du protocole de routage, c'est-à-dire dans le voisinage proche des nœuds du réseau.
- **globale** : intégration de bout en bout entre la source et la destination au sein du réseau.

6. Qualité de service QoS dans les réseaux de capteurs :

Depuis l'émergence des réseaux de capteurs, les principaux travaux de recherche se sont concentrés sur la gestion des données issues des capteurs, la gestion de l'énergie et le routage, ce qui est important pour la bonne exploitation de ces réseaux [13].

Selon les applications utilisées, les réseaux de capteurs doivent assurer un niveau de qualité de service minimum afin de répondre aux besoins des utilisateurs finaux. Par exemple, dans un système de détection d'incendie, la transmission de l'information doit être faite en temps réel dans le but de mener les actions nécessaires pour contrôler la situation. Le délai de transmission

devient moins critique dans le cas d'un système de climatisation qui a la tâche de maintenir une certaine température dans un local.

Dans les réseaux de capteurs, le contexte est complètement différent, les ressources de ces derniers sont limitées notamment au niveau de la bande passante, de la capacité de calcul, etc. de plus, si l'on considère que les nœuds peuvent être mobiles, ceci rend plus difficile la transmission des données et par conséquent la qualité de service devient difficile à garantir.

7. Garantie de la qualité de service dans les RCSF :

La garantie de la qualité de service peut se faire selon plusieurs approches et les mécanismes utilisés peuvent exister dans tous les niveaux du modèle OSI.

7.1. Solutions MAC :

Les protocoles MAC « Medium Access Control » sont responsables de la gestion de l'accès au canal sans fil partagé. Cette gestion se fait selon plusieurs méthodes en fonction des besoins des applications, à savoir les méthodes avec contention, les méthodes sans contention et les méthodes d'accès hybrides. Cette solution utilise pour une QoS local mais on note qu'il existe des protocoles MAC conçus pour la communication multi saut, notamment la topologie en arbre de clusters (*cluster tree*), comme les protocoles DMAC et DB-MAC. Ce type de protocoles MAC peut garantir la QoS de bout en bout à ce niveau du modèle OSI (*Open System Interconnexion*) de l'ISO (*International Organisation for Standardisation*) [14].

7.2. Routage :

Même si la couche MAC arrive à garantir la qualité de service localement (*un saut*), la qualité de service de bout en bout ne peut pas être assurée dans un environnement multi-sauts s'il n'y a pas de garantie au niveau de la couche réseau. Les protocoles de routage participent à la garantie de la qualité de service par le choix du chemin optimal en vue de transmettre les paquets tout en respectant les besoins de l'application à travers plusieurs techniques de routage.

L'objectif du protocole de routage dans ce cas est de trouver le chemin le plus court, mais qui offre une garantie des besoins requis par l'application cible. Les protocoles de routage existants offrent aussi une garantie de QoS soit probabiliste ou déterministe [14].

7.3. Traitement des données :

L'agrégation des données permet d'améliorer l'efficacité en énergie, de réduire la charge du trafic global, notamment dans le « Back one » du réseau et les points les plus proches de la destination, et par conséquent, d'améliorer la qualité de service. Il existe plusieurs techniques utilisées pour l'agrégation des données comme les approches basées sur les clusters, les approches basées sur l'arbre d'agrégation, l'agrégation basée sur le traitement distribué des

données à l'intérieur du réseau « In-Network » et l'agrégation centralisée qui se fait dans un serveur à l'extérieur du réseau (*out-of-Network*).

7.4. Cross-layer :

Dans les modèles de couches (*OSI*), le rôle de chaque couche est d'offrir des services à la couche supérieure adjacente. L'intérêt de ce modèle de communication est de garder une transparence pour éviter à ce que les couches supérieures connaissent le détail des autres couches inférieures. Toutes les communications doivent se faire à travers des interfaces prédéfinies par le protocole utilisé dans chaque couche.

Ceci a donné comme résultats, une facilité de standardisation des protocoles de communication, une aisance dans le développement de nouveaux protocoles de toutes les couches, en plus de l'interopérabilité entre différents réseaux et équipements. Malgré tous ces avantages, ce modèle n'est pas très flexible, car les communications s'effectuent de manière stricte et prédéfinie. Cela peut mener dans certains cas à une utilisation moins efficace des ressources du réseau, et par conséquent, à une dégradation de la qualité de service, notamment dans les environnements dynamiques. Ceci a motivé des chercheurs à adopter le modèle de cross-layer. Le concept du cross-layer est centré sur l'idée d'optimiser le contrôle et l'échange des informations entre deux ou plusieurs couches de la pile protocolaire utilisée à travers un agent ou un plan de gestion partagé par les différentes couches. L'objectif est d'améliorer les performances en exploitant cette interaction entre les protocoles des différents niveaux du modèle OSI [14].

8. Collecte d'informations dans les RCSFs :

On peut considérer le routage dans les RCSFs comme collecte d'information, généralement il y a deux méthodes pour collecter les informations dans un réseau de capteurs sans fil.

8.1. Collecte d'informations à la demande :

Lorsque l'on veut connaître l'état de la région d'intérêt à l'instant t , le nœud récepteur envoie une requête de diffusion à tous les nœuds déployés dans la région d'intérêt afin qu'ils puissent envoyer la dernière lecture au site. Puits ou évier. Les informations sont ensuite acheminées vers le nœud récepteur via une communication multi-sauts.

La figure 2.2 illustre ce mode de communication.

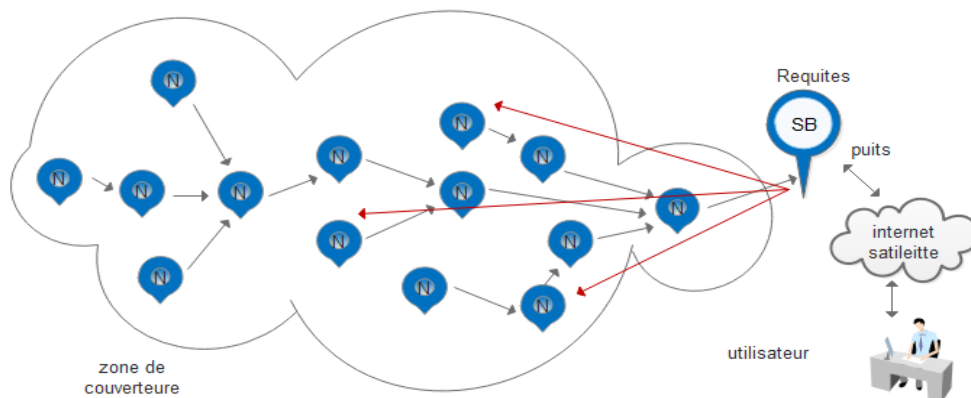


Figure 2.2 : Collecte d'informations à la demande.

8.2. Collecte d'informations suite à un événement :

Un événement se produit en un point de la zone d'intérêt (*changement brusque de température, détection d'un mouvement...*), les capteurs situés à proximité de ce point cible remontent alors les informations relevées et les acheminent jusqu'à la station de base (*puits ou sink*). La figure 2.3 symbolise comment se fait la communication de l'information dans ce mode.

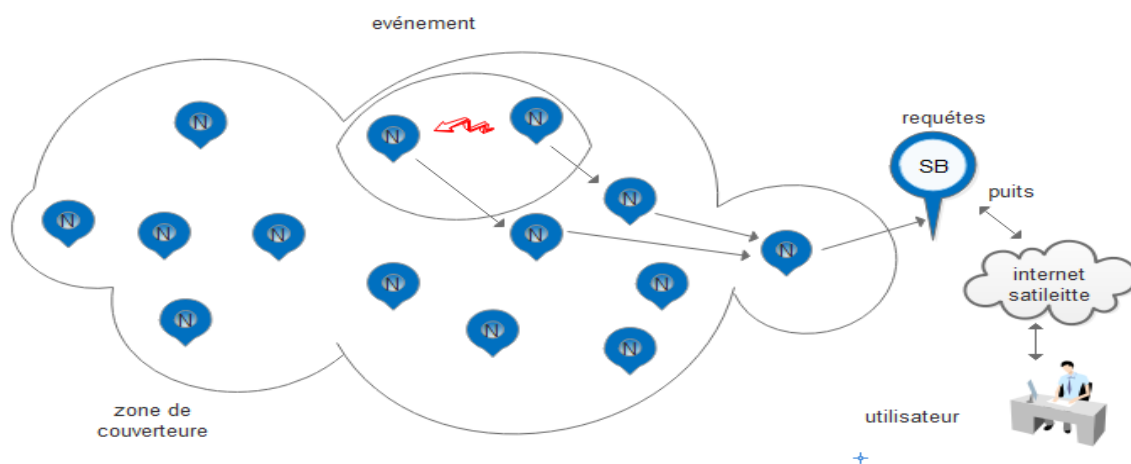


Figure 2.3 : Collection orientée événement.

9. Protocoles de routage :

La fonction la plus importante du réseau est de diffuser et de transférer des données dans RCSF. Il doit prendre en compte toutes les caractéristiques du capteur pour assurer les meilleures performances du système : durée de vie, fiabilité, temps de réponse, etc. Les problèmes de routage incluent la détermination du meilleur itinéraire pour les paquets de données à travers le réseau au sens de normes de performance spécifiques. Le problème est de trouver l'investissement le moins coûteux en capacité nominale et en réserves pour assurer

l'acheminement du trafic nominal et assurer sa survie en cas de défaillance de nœud. Le problème qui se pose dans l'environnement réseau ad hoc est l'adaptation au mode de routage d'un grand nombre d'unités existant dans un environnement caractérisé par des capacités de calcul et de sauvegarde modérées et des changements topologiques rapides [15].

Il semble donc important que toute conception de protocole de routage doive étudier les problèmes suivants :

- La minimisation de la charge du réseau
- Offrir un support pour pouvoir effectuer des communications multipoints fiables
- Assurer un routage optimal
- Offrir une bonne qualité concernant le temps de latence

10. Classification des protocoles de routage dans les RCSFs :

Les protocoles de routage dans les RCSFs sont généralement basés sur la communication multi-sauts entre les nœuds capteurs et le nœud puits. Le principe de fonctionnement de chaque protocole diffère suivant la philosophie de l'approche à laquelle il appartient. Ces approches peuvent être divisées selon la structure de réseau en trois catégories, routage basé sur une structure plat (*flat-based routing*), routage hiérarchique (*hierarchical-based routing*) et routage géographique. Les protocoles de routage peuvent être classés selon l'établissement de route en trois catégories, nommés, proactifs, réactifs et hybrides [16].

On peut aussi classée les protocoles de routages selon le fonctionnement des protocoles, voir la figure 2.3. Dans le reste de cette section, nous présentons un aperçu des principaux protocoles de routage dans les réseaux de capteurs sans fil.

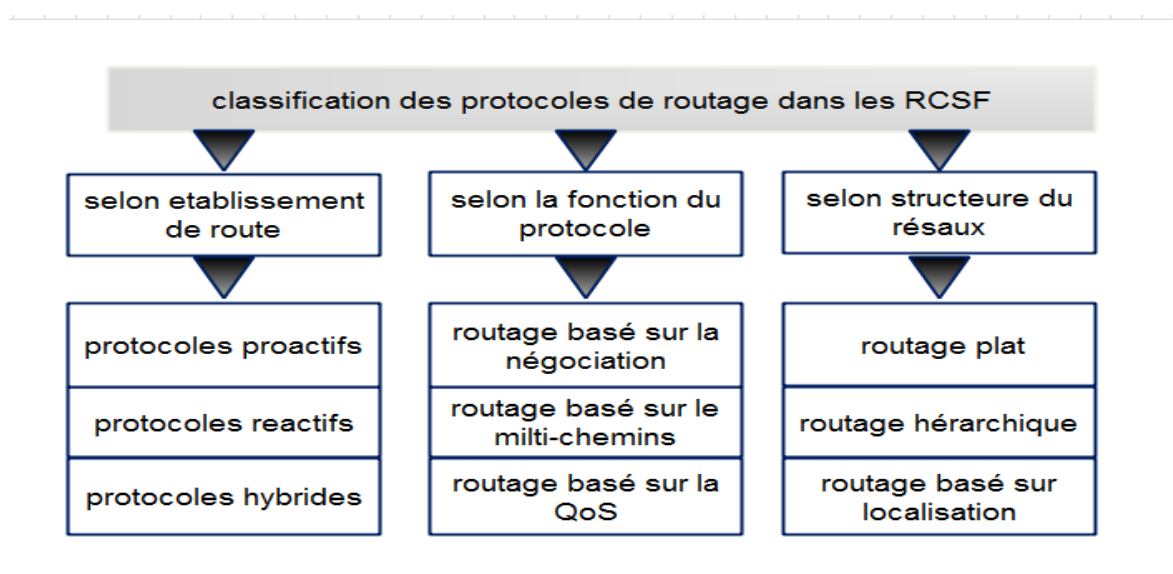


Figure 2.4 : Les différentes approches de routage dans les RCSFs.

10.1. Classification selon la structure du réseau :

La structure détermine l'organisation des capteurs dans le réseau et joue un rôle significatif dans le fonctionnement du protocole de routage. Les protocoles de cette classe peuvent être classifiés en trois catégories : protocoles à plat, protocoles hiérarchiques et protocoles basés sur la localisation géographique.

10.1.1 Protocoles De Routage Plat (Flat Routing) :

Dans un réseau plat chaque nœud joue généralement le même rôle et coopère avec d'autres nœuds pour accomplir la tâche de capture. En raison du grand nombre de nœuds utilisés, il est presque impossible d'attribuer un identifiant à chaque nœud. Dans ce cas, le routage linéaire est utilisé, où la station de base initie une demande à la zone et attend les données des nœuds de la zone sélectionnée. Les caractéristiques d'un réseau plat sont : des protocoles de routage simples, de faibles coûts de maintenance, une forte tolérance aux pannes et la possibilité de construire de nouveaux chemins en fonction des changements de topologie. Cependant, les nœuds proches du puits sont plus impliqués dans les tâches de routage que les autres nœuds. De plus, en raison de la même fonction et du même mode de répartition des nœuds, ces réseaux présentent une faible socialité et nécessitent donc une grande quantité de messages de contrôle.

La figure suivante illustre l'organisation des capteurs dans une topologie plate [17].

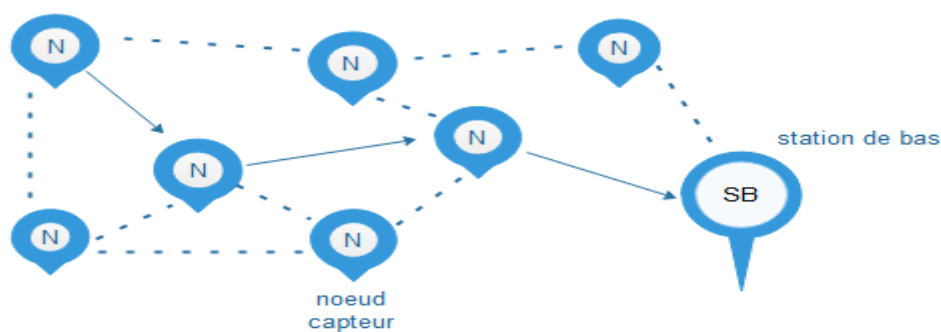


Figure 2.5 : Topologie plate.

Avantage :

- Simple à implémenter.

Inconvénients :

- La technique de flooding (*inondation, diffusion*) ne prend pas en compte les ressources d'énergie disponibles. Cependant, la diffusion des messages continue après la réception de ces derniers par la station de base. En effet, seul le nœud destinataire sait qu'il a reçu le message, il

y a donc un gâchis de la bande passante et des dépenses d'énergie inutiles.

10.1.2. Protocoles de Routage Hiérarchique :

Le routage hiérarchique est considéré comme étant l'approche la plus favorable en termes d'efficacité énergétique. Il se base sur le concept (*nœud standard – nœud maître*), en divisant les nœuds en plusieurs niveaux de responsabilité. L'une des méthodes les plus employées est le clustering, où le réseau est partitionné en groupes appelés "clusters". Un cluster est constitué d'un chef (*cluster-head*) et de ses membres [18].

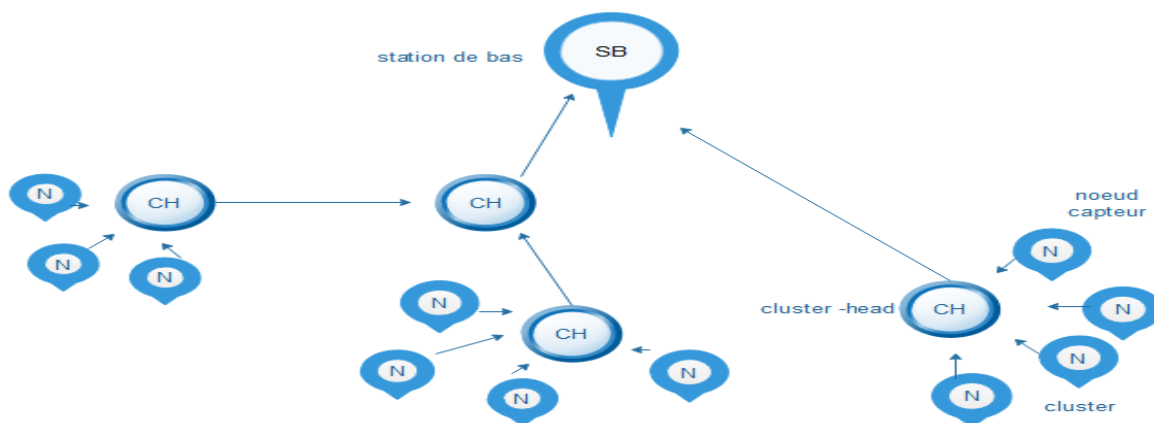


Figure 2.6 : Le routage hiérarchique.

L'avantage majeur de ce type de routage est l'élimination de la redondance des données. En effet, chaque cluster-Head agrège les données afin de diminuer le nombre de messages envoyés à la destination. Mais l'inconvénient c'est que les leaders consomment plus d'énergie que les autres nœuds dans le réseau. S'ils ne changent pas régulièrement, le réseau sera partitionné. On peut citer comme exemple :

- **Le protocole LEACH :**

LEACH (*Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy*) est l'un des protocoles de routage hiérarchique le plus populaire pour les réseaux de capteurs. L'idée est de former des clusters de nœuds de capteurs basés sur les zones où il y a un fort signal reçu, puis utiliser des *clusters-Head* locaux comme passerelle pour atteindre la destination. Les *cluster-heads* sont choisis aléatoirement et communiquent directement avec la station de base. Cela permet d'économiser de l'énergie car les transmissions ne sont effectuées que par les *cluster-Head* plutôt que par tous les nœuds de capteurs [19].

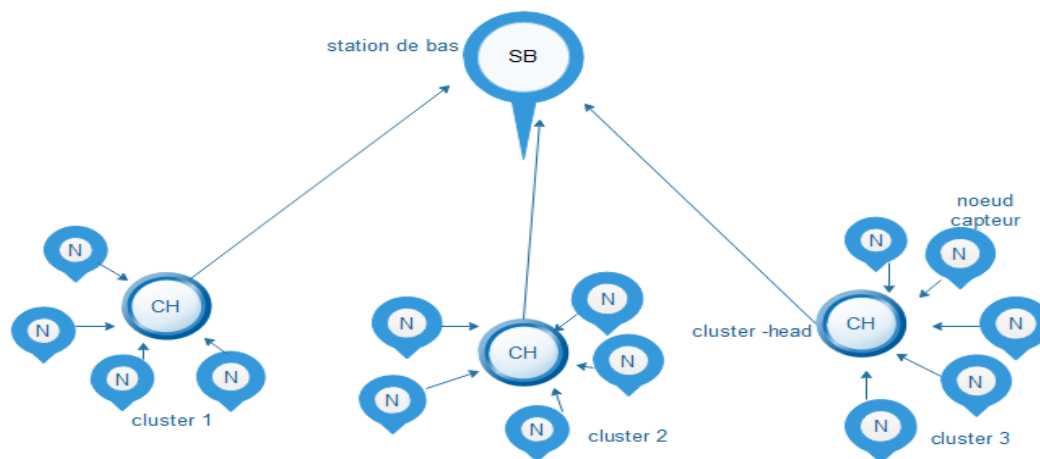


Figure 2.7 : Algorithme de routage LEACH.

Avantages

- Dans le protocole LEACH, la consommation d'énergie est partagée sur l'ensemble des nœuds prolongeant ainsi la durée de vie du réseau,
- Dans ce protocole chaque nœud transmet des données dans son slot (*tranche de temps*), donc le taux de collision est diminué. Aussi, lorsqu'un nœud n'est pas dans son slot, il éteint sa radio pour conserver son énergie donc prolonger sa durée de vie

Inconvénients

- LEACH sélectionne au hasard le chef de groupe à chaque tour. Donc, l'énergie de certains nœuds peut s'épuiser trop rapidement en raison de la sélection de chef de cluster chaque fois, et les clusters heads peuvent se concentrer dans un même endroit, par conséquent, il pourrait exister des nœuds isolés (*sans cluster head*) pouvant se déclarer,
- L'agrégation des données dans LEACH est centralisée et est exécutée périodiquement. Or, dans certains cas, la transmission périodique des données pourrait ne pas être nécessaire, ce qui épuise rapidement l'énergie limitée des capteurs,
- Après l'agrégation de données, le chef de groupe envoie ses données directement à la station de base, qui peuvent être éloignées et consomme plus d'énergie éventuellement.

Une variante de LEACH appelée LEACH-C a été conçue pour améliorer les performances de LEACH. Cette variante utilise une architecture centralisée pour choisir les clusters heads tout en impliquant la station de base et l'information de localisation des capteurs, le fonctionnement de LEACH-C est illustré comme suite

:Lors de la phase d'installation de LEACH-C, les nœuds informent la SB par l'envoi d'information sur leur position par GPS et leur niveau d'énergie [20].

- La station de base désigne les Cluster Heads en se basant sur la moyenne des niveaux d'énergie, les nœuds ayant un niveau d'énergie inférieur à la moyenne ne peuvent pas être des Cluster Heads dans l'itération courante,
- Enfin, la station de base diffuse un message contenant les identificateurs des Cluster Heads,
- Le fonctionnement des autres opérations est similaire à celui de LEACH.

- **Le protocole ECBDA :**

Le fonctionnement de protocole ECBDA (*Energy-Efficient Cluster Based Data Aggregation for Wireless Sensor Networks*) est divisé en quatre étapes différentes : la formation du cluster, l'élection du chef de cluster, l'agrégation des données et la maintenance du cluster. Après avoir superposé le réseau, chaque couche sera divisée en une série de K clusters. Puis après la construction du cluster, l'élection de CH est effectuée. Le protocole sélectionne le CH en fonction de l'énergie restante et du coût de communication de chaque nœud. Ensuite, une fois qu'un nœud est sélectionné en tant que CH, il diffuse un message à ses membres de cluster, aux autres CH et SB. CH alloue un temps TDMA pour chaque membre du cluster pour la transmission de données. Dans l'étape d'agrégation des données, les nœuds membres envoient les données collectées au cluster CH dans les créneaux temporels qui leur sont attribués. Une fois que le CH a reçu les données, il démarre le processus d'agrégation des données [21].

Avantages :

- La taille réduite des clusters proches de la SB permet d'éviter le problème des points chauds,
- Le partitionnement du réseau en couches permet de réduire la consommation énergétique lors de la transmission de données.

Inconvénients :

- ECBDA ne garantit pas une distribution homogène des CHs sur le réseau, car le seul critère d'élection du CH est une probabilité aléatoire. Cela n'empêche pas une concentration des CHs dans une région limitée ou détrimement de l'ensemble du réseau,
- La transmission de données inter-cluster est aléatoire ce qui permet l'épuisement des capteurs qui sont toujours en cas d'émission.

10.1.3. Protocoles de routage basés sur la localisation (géographique) :

Dans ce type de routage, les nœuds sont adressés à l'aide de leurs positions. En effet, ce type de protocole considère que les nœuds connaissent leurs positions respectives et sont capables de connaître les positions des autres nœuds. Ce qui facilite la diffusion d'informations vers une région dans laquelle se trouve la destination.

Les protocoles à topologie basée sur localisation supposent que:

- Le réseau est partitionné en plusieurs zones de localisation,
- Chaque zone a son identifiant,
- Chaque nœud a un identifiant EUI (*End-system Unique Identifier*) et enregistre dynamiquement l'identifiant de la zone à laquelle il appartient temporairement.

L'information temporaire de localisation appelée LDA (*Location Dependent Address*) qui est un triplet de coordonnées géographiques (*longitude, latitude, altitude*) obtenues, par exemple, au moyen d'un GPS (*Global Positioning System*) avec une précision dépendante du type de l'application. Une telle topologie exige l'implémentation d'un algorithme gestion de localisation qui permetaux nœuds de déterminer les endroits approximatifs des autres nœuds [22].

voir la figure 2.8 :

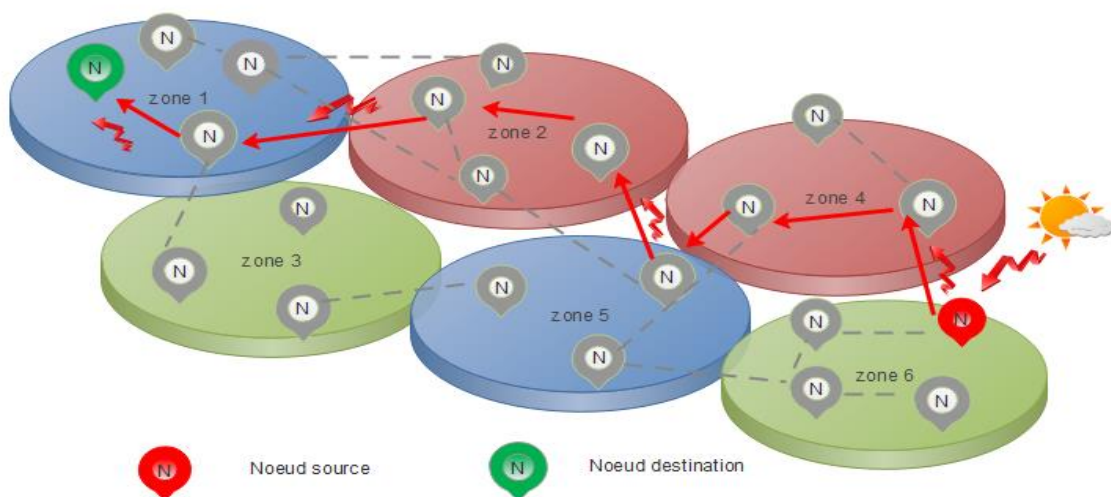


Figure 2.8 : Topologie basée sur la localisation.

Avantages

- Les protocoles de routage basés sur la localisation permettent la transmission directionnelle de l'information afin d'éviter l'inondation d'information dans l'ensemble du réseau. Par conséquent, le coût de contrôle de l'algorithme est réduit et le routage est optimisé,

- Ce type de topologie est mieux adapté aux réseaux avec une forte mobilité.

Inconvénients

- chaque nœud doit connaître les emplacements des autres nœuds,
- Les nœuds doivent être équipés d'un système de localisation par satellite (Une solution basée sur le GPS peut être trop coûteuse),
- Le routage basé sur la localisation géographique n'est pas un bon choix pour les applications qui exigent une livraison fiable à des intervalles réguliers des paquets de données.

10.2. Classification selon établissement de route :

10.2.1. Protocoles proactifs :

Les protocoles de routage proactifs établissent au préalable les meilleures routes pour chaque nœud vers toutes les destinations possibles. Ces protocoles maintiennent en permanence une vision globale de l'état du réseau grâce à une gestion périodique des tables de routage et l'échange des messages de contrôle GSR (*Global State Routing*) [23].

Ceci induit un contrôle excessif d'autant plus qu'ils sont particulièrement utilisés pour les réseaux denses. De plus, ils présentent un autre inconvénient dû à la sauvegarde des routes même si elles ne sont pas utilisées.

- Routage classique dans les architectures filaires
- Échange périodique de paquets (inondation)
- Routes maintenues vers toutes les destinations

10.2.2. Protocoles réactifs :

Contrairement aux protocoles proactifs, les protocoles réactifs ne calculent la route que sur demande. Si un nœud source a besoin d'envoyer un message à un nœud destination, alors il envoie une requête à tous les membres de réseau. Après la réception de la requête, le nœud destination envoie un message réponse qui remonte vers la source. DSR (*Dynamic Source Routing*) [24].

10.2.3. Protocoles hybrides :

Les protocoles de routage hybrides ou "mixtes" combinent les deux types de routage précédents (*proactif et réactif*). Le protocole proactif est appliqué dans un périmètre réduit autour de la source (*nombre limité de voisins*), tandis que le protocole réactif est appliqué au-delà de ce périmètre (les voisins lointains). Cette combinaison est réalisée dans le but d'exploiter les avantages de chaque méthode et de contourner leurs limitations ZRP (*Zone Routing-Protocol*) [25].

10.3. Classification Selon la fonction du protocole:

Cette classe peut-être décomposée en trois sous-classes, ceci est en fonction de la stratégie de routage utilisée par le protocole. Cette stratégie peut être basée à la fois sur le multi chemins, la négociation ou encore la qualité de service.

10.3.1. Routage basé sur la négociation :

D'empêcher l'envoi de données redondantes au prochain capteur ou à la station de base. En effet, avant que la vraie transmission de données ne commence, les capteurs conduisent une série de messages de négociation nommés " descripteurs de données de haut niveau ". Le mécanisme de négociation utilisé permet de réduire le taux de données redondantes transmises ainsi que la négociation entre les nœuds leur permet de prendre des décisions adéquates suivant leurs ressources énergétiques disponibles. Par ailleurs l'échange de messages de contrôle entre les nœuds cause la congestion du réseau ainsi qu'une perte additionnelle d'énergie ; ainsi que le scénario de négociation entre les nœuds (*déterminer les données et les acheminer*) produit un délai pour délivrer les données aux nœuds puits. Le protocole SPIN (Sensor Protocols for Information via Négociation) [26].

10.3.2. Routage basé sur les multi-chemins:

Les protocoles de cette sous-classe utilisent des chemins multiples pour router les données au lieu d'un chemin unique entre une source et une destination. La tolérance aux fautes d'un protocole est mesurée par la vraie semblance qu'un chemin alternatif existe entre une source et une destination lorsque le chemin principal échoue. Cette tolérance peut être renforcée en découvrant des chemins multiples entre la source et la destination au prix d'une consommation énergétique et d'un trafic de contrôle supplémentaire.

Ces chemins alternatifs sont maintenus en veille par la source en envoyant des messages périodiques. Par conséquent, la fiabilité du réseau peut être augmentée tout en ayant une surcharge de contrôle supplémentaire pour garantir la validité des chemins alternatifs. Plusieurs solutions de routage pour les réseaux de capteurs sans fil utilisent le paradigme du multi-chemin AOMDV (Ad-hoc On-demand Multipath Distance Vector protocol) [27].

Cette approche offre un mécanisme d'équilibrage de charge pour la répartition du trafic sur les routes, ce qui permet de répartir l'utilisation des ressources des nœuds intermédiaires (énergie) et le débit sur les liens ainsi pour augmenter de la fiabilité et la robustesse du réseau par la possibilité d'existence de plusieurs routes entre la source et la destination. L'inconvénient de ce concept de routage est que les chemins alternatifs sont maintenus en vie par l'envoi de messages périodiques. Par conséquent, un overhead et une perte additionnelle d'énergie viennent s'ajouter pour maintenir ces chemins alternatifs.

10.3.3. Protocoles avec gestion de la QoS:

Dans le domaine des réseaux, la notion de qualité de services est évoquée pour désigner la capacité du réseau à fournir un service. Du fait de la mobilité (défaillance) des nœuds responsables de la transmission des données entre source et destination, les risques que la route se coupe avant la fin de la communication sont très importants.

Le principe des protocoles de routage avec QoS se base sur le fait que le réseau doit être capable de satisfaire certaines métriques (latence, énergie des nœuds, bande passante, etc.) tout en acheminant le maximum de données vers la station de base. La prise en compte des délais de transmissions rend les protocoles de cette approche très recommandés pour des applications de surveillance (centres nucléaires, monitoring médical, applications militaires, etc.) ainsi que la qualité des liaisons dans la communication assure la fiabilité des transmissions et augmente le taux d'arrivée des paquets au nœud puits. Par ailleurs, l'amélioration de la QoS se fait automatiquement au détriment de la consommation de l'énergie par le capteur.

Il existe plusieurs protocoles de ce type :

- **SAR :**

SAR (Sequential Assignment Routing) est un protocole multi chemin et utilisant les tables de routage. Il était parmi les premiers protocoles de routage développés pour les réseaux de capteurs sans fil considérant les besoins en termes de QoS. L'objectif de ce protocole est de créer plusieurs arbres dont les racines sont les nœuds qui sont à un seul saut du puits. Lors de la construction, chaque arbre évite les nœuds qui ont une faible énergie et qui ne peuvent pas assurer les besoins en termes de QoS (i.e. bas débit/délai important) [28].

Ainsi, plusieurs chemins connectent n'importe quel nœud du réseau au puits.

Ressources énergétiques : ressources énergétiques estimées du chemin Le nombre maximum de paquets de données pouvant être transmis par le nœud de calcul, S'il est le seul à utiliser cette route.

Métrique Additive QoS : chaque chemin a une métrique Additive QoS Basé sur la définition de l'énergie et du délai de chaque lien dans le chemin. Un gros La valeur indique une faible QoS. Afin d'effectuer le routage, un nœud choisit le chemin le plus approprié La QoS requise par le package. Cette exigence est exprimée par la priorité du paquet de données.

- **MCPF:**

MCPF (*Minimum Cost Path Forwarding*) utilise le coût des liens pour établir les chemins vers le puits. Le coût d'un lien est calculé en fonction du délai, du débit et de la consommation d'énergie du nœud. MCPF opère en deux phases :

Premièrement l'établissement des coûts et deuxièmement la transmission des données. L'établissement des coûts démarre par un message ADV émis par le puits et contenant un coût nul. Tous les autres nœuds initialisent leur coût à une valeur infinie. Lorsqu'un nœud reçoit un message ADV, il vérifie si la valeur reçue additionnée au coût du lien est plus petite que la valeur locale. Dans ce cas, le nœud met à jour sa valeur locale et émet un nouveau message ADV comme suit ; le nœud choisit un délai de back off proportionnel à la nouvelle valeur du coût et envoie le message à l'expiration de ce délai. Le délai du back off permet aux nœuds suivants de mettre à jour leurs coûts en sélectionnant celui qui a le coût minimum vers le puits.

La phase de transmission démarre après. Lorsqu'un paquet est émis par une source vers le puits, il contient le coût minimal local du nœud. A la réception d'un paquet de donnée, le nœud vérifie si son coût local est égal au coût reçu moins le coût du lien de réception.

Dans ce cas, le nœud relaie le paquet en remplaçant la valeur du coût par sa valeur locale. Sinon, le message est supprimé.

MCPF n'utilise aucune identification des nœuds et aucune table de routage Ainsi, il consomme peu de ressources mémoire [29].

- **SPEED :**

SPEED est un protocole de routage à temps réel souple basé sur la localisation géographique. Il part de l'hypothèse suivante : le délai de bout-en-bout dépend de la distance entre la source et la destination. Il essaie, ensuite, de garantir la vitesse de délivrance des paquets à travers le réseau de capteurs de manière à ce que ce délai de bout-en-bout soit proportionnel à la distance entre la source et la destination. La vitesse de délivrance est une contrainte qu'on peut définir au niveau application. Le routage dans SPEED se fait de la manière suivante : Lorsqu'un paquet arrive à un nœud i celui-ci sélectionne les voisins qui sont plus proches que lui de la destination. Ensuite parmi cet ensemble, il sélectionne un sous ensemble de nœuds qui ont une vitesse de relais supérieure à une certaine valeur fixée S_{set} (qui dépend de la taille du paquet, de la bande passante disponible et de la couverture radio). La vitesse de relais est le quotient distance entre i et le voisin de i sur le délai pour atteindre ce voisin. Ensuite, le candidat pour la transmission est choisi parmi cette sous liste (le choix est probabiliste).

Enfin, si cette sous liste est vide, un premier mécanisme d'adaptation de trafic est appelé pour tenter de diminuer la valeur de S_{set} [30].

Dans le pire des cas le paquet est supprimé. Afin de maintenir la vitesse désirée, SPEED emploie un deuxième mécanisme de régulation du trafic qui permet de diminuer la charge sur un nœud donné en agissant sur le trafic émis par tous ses prédécesseurs. Le trafic est ou bien détourné vers d'autres nœuds ou bien supprimé. Plusieurs variantes de SPEED ont été développées comme par exemple "twohop SPEED" qui améliore les décisions de routage en utilisant des vitesses de relais à deux-sauts. "Multi-path and Multi-speed Routing" [30].

MMSPEED, est une autre variante de SPEED qui utilise des chemins multiples et supporte la différenciation de service à travers l'utilisation de vitesses de relais qui varient en fonction de la classe du trafic.

- **RPAR :**

RPAR (Real-time Power-Aware Routing) est un protocole de routage dit à temps réel souple : Il essaie de garantir les délais de communication exigés par les applications tout en consommant moins d'énergie. Il se base sur l'hypothèse suivante : plus l'énergie est élevée plus les délais de transmission sont faibles.

Ainsi le protocole établit un compromis entre la consommation d'énergie et les délais de transmissions. On appelle *vélocité* le rapport entre la distance parcourue par un paquet et son délai bout-en-bout.

RPAR se base sur le routage géographique et l'améliore. L'amélioration consiste à adapter dynamiquement la puissance de transmission selon les exigences de l'application. En effet, RPAR considère chaque paquet à part lors du processus de routage. Il transmet le paquet au nœud qui offre le meilleur choix en terme de consommation d'énergie (*donc en terme de puissance de transmission*). Un nœud voulant transmettre un paquet calcule les *vélocités* offertes par ses voisins (*appelés choix de transmission*). Il détermine ensuite ceux qui peuvent offrir une *vélocité* supérieure à celle requise par le paquet (*la vélocité requise pour assurer l'arrivée dans les temps du paquet*) ; ce groupe de nœuds est appelé *choix de transmissions éligibles*. Enfin, il estime le coût d'énergie qui sera consommée lors de la transmission du paquet aux nœuds éligibles. Le prochain nœud choisi sera donc celui qui offre la *vélocité* requise tout en consommant le moins d'énergie.

11. Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons dressé un état de l'art sur la qualité de service le but et Les paramètres et on a présenté le routage et leur type de classification.

L'objectif de la suite de notre travail est de proposer un protocole traiter la problématique du routage basée sur la QoS tout en minimisant la consommation d'énergie pour améliorer la qualité de service dans les réseaux de capteurs sans fil.

Chapitre 3 : Contribution : protocole de routage LHCBM (*Level Hierarchical Clustering Based Balancing Multipath routing*)

1. Introduction:

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 et de meilleur qualité de service.

Dans les réseaux de capteurs sans fil, 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 présenter quelques approches et techniques sur lesquelles se basent les protocoles de routage pour résoudre ces difficultés.

Le regroupement des nœuds capteurs en clusters a été largement étudié par la communauté des chercheurs du domaine, en vue de lui concéder un niveau de maturité satisfaisant, en particulier lui assurer un degré d'évolutivité (*sociabilité*) appréciable. Plusieurs algorithmes de clustering ont été spécialement conçus pour les réseaux de capteurs sans fil. Ces techniques de clustering proposées varient largement selon les schémas de déploiement des nœuds, l'architecture du réseau, les caractéristiques des nœuds CH et le modèle de fonctionnement du réseau. Le clustering a de nombreux avantages, il peut réduire la bande passante de communication, car elle limite la portée des interactions sinter-clusters aux CH set évite l'échange redondant des messages entre les nœuds capteurs [31].

Nous avons proposé le protocole LHCBM (*Level Hierarchical Clustering based Balancing Multipathrouting Protocol for Wireless Sensor networks*) pour garantir un millier qualité de service avec moindre d'énergie.

2. Motivation:

Il existe plusieurs objectifs assurés par notre protocole LHCBM:

- Un algorithme de clustering devrait être complètement distribué parce qu'une méthode de contrôle centralisée n'est pas pratique pour les RCSFs à grande échelle.
- L'élection du cluster-head est indépendante de la station de base.
- Les cluster-heads devraient être bien choisis pour une répartition optimale dans la zone de la surveillance afin de rendre la consommation d'énergie bien équilibrée des membres d'un cluster.

- L'algorithme de clustering devrait être efficace sur le plan énergétique.
- une méthode optimal pour diminuer le perte des paquets.
- Fournir une qualité de service qui reflète adéquatement la fiabilité du réseau et les délais de latence.
- L'algorithme à l'avantage de minimiser les messages de commande de routage et les messages de contrôles et par conséquent, le protocole peut fonctionner efficacement du point de vue énergétique.

3. Principe de LHCBM:

Afin de proposer une stratégie d'acheminement plus efficace dans la notion de qualité de service et permettant de prolonger la durée de vie du réseau en équilibrant l'énergie consommée de manière plus équitable possible, nous proposons un protocole de clustering qui est garantir une livraison des données rapide et fiable. Celui-ci prend en considération la capacité énergétique, mémorielle et calculatoire des capteurs lors de la sélection des cluster-heads et de l'énergie résiduelle ainsi que la distance qui sépare un nœud adjacent du nœud émetteur lors du choix du nœud relai. Nous intéressons à une optimisation des contraintes selon les paramètres suivants : l'énergie, la localisation, le facteur d'échelle, les ressources limitées, la bande passante limitée, l'équilibrage de la charge et la topologie dynamique. LHCBM introduit un mécanisme d'équilibrage de la charge grâce à la réalisation d'une bonne distribution des cluster-heads basés sur le modèle réseau proposé afin d'améliorer la QoS et les performances en termes de durée et perte de paquets et tous ça pour augmenter la réhabilité.

L'approche proposée vise à remplir les objectifs suivants, généralement notre proposition c'est une solution multi objectif sur deux axes différents (*énergie et qualité de service*)

- Maximiser le taux de réception des paquets ainsi que la durée de vie du réseau.
- Amélioration de la fiabilité des données reçues à la station de base.
- Minimiser les pertes paquets.
- Diminution de la consommation d'énergie globale de réseau.
- Équilibrage de la dissipation d'énergie entre les nœuds capteurs pour augmenter la durée de vie du réseau.
- Equilibrage de la charge des clusters doit être effectif par l'utilisation de deux contributions Le cluster-head temporaire et le cluster-head final.
- Les Cluster-heads sont parfaitement déterminés par une proposition d'analyse mathématique.
- Garantir une livraison de données rapide et fiable.
- Diminution de la latence.

- Résister aux échecs des nœuds capteurs.

4. Phases de LHCBM :

Dans cette section, nous décrivons l'approche LHCBM proposée pour minimiser la consommation d'énergie afin d'améliorer la durée de vie d'un réseau.

Ce protocole utilise un schéma de regroupement adaptatif dans le quelle le nombre de clusters varie et les membres des cluster-heads évolues. La station de base est supposée avoir une énergie illimitée et une puissance importante de communication. Il est également supposé que la station de base est située à une position fixe et hors du champ de captage .

Les nœuds avec haute condition (Pch) peuvent agir en tant que CH (*Cluster-Head*) pour agréger et envoyer les données. Tous les nœuds doivent alternativement devenir CH, la sélection du CH est proposée selon des nombreux facteurs. Au niveau du LHCBM les facteurs suivants sont considérés: (*le nombre des voisins d'un nœud, l'énergie résiduelle, la distance entre les nœuds, la distance avec la SB*).

Le protocole LHCBM réalise une bonne répartition des clusters, il se déroule en (*cycles*) qui représentent le temps d'intervalles déterminés à l'avance. Chaque round se compose de plusieurs phases, la phase d'initialisation (*la phase de formation de niveaux, la phase de formation de cluster, la phase d'élection des CHs de réseau*), la phase de routage (*elle est composée on deux sous : la phase de d'ordonnement de TDMA et la phase de transmission (inter-cluster et intra-cluster)*)).

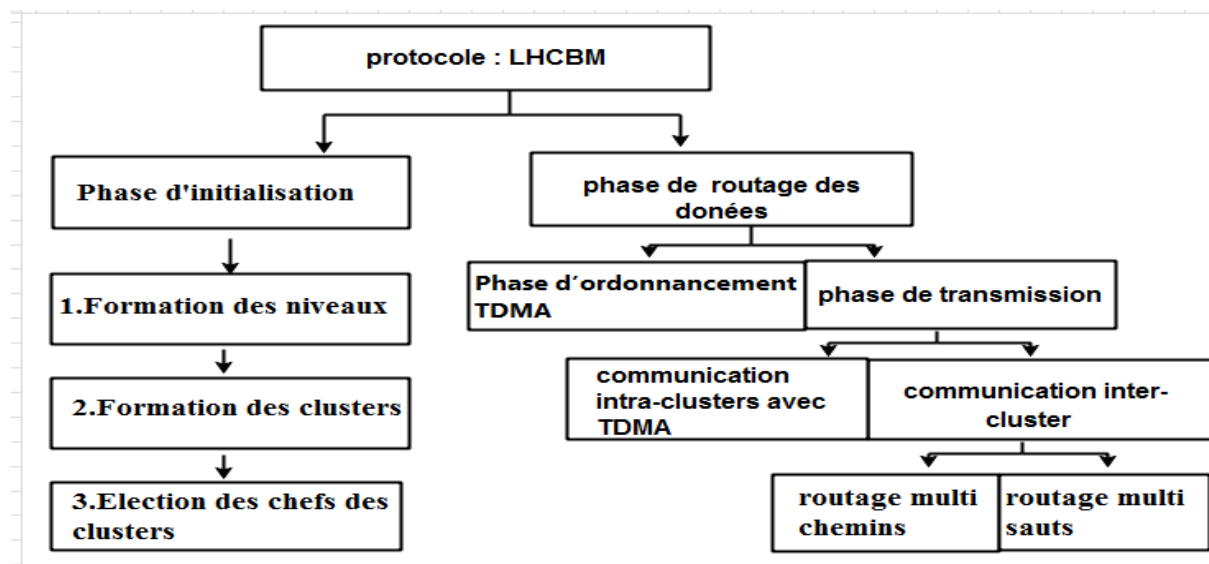


Figure 3.1 : Les Phases de protocole LHCBM.

4.1. Phase d'initialisation:

Cette phase est exécutée une seule fois durant tout le processus de déploiement et de fonctionnement du réseau, afin de réaliser un regroupement (*Clustering*) de nœud capteurs.

Cette phase permet de structurer le réseau en clusters statiques. Elle se réalise en trois étapes,

la première est caractérisée par la formation des niveaux du réseau, la seconde réalise une partition de réseau en plusieurs clusters utilisant un angle de division de chaque niveau et la troisième correspond à la sélection des CHs.

A la fin de cette phase, notre réseau sera divisé en plusieurs niveaux et chaque niveau possède des clusters statiques pour éviter la surconsommation d'énergie lors du clustering dynamique.

4.1.1. Formation des niveaux:

Dans cette étape, la SB sépare le réseau en L niveaux, en calculant la distance (voir équation 3.1) entre la SB et le nœud le plus éloigné comme dans [32].

$$\alpha = \max \{ \forall_{i=1}^N d(\text{Ni}, \text{BS}) \} \dots \dots \dots (3.1).$$

Où:

$d(\text{Ni}, \text{BS})$: est la distance entre la station de base et le nœud Ni.

Le nombre de niveau L dépend de la distance maximale α et de la portée radio des nœuds Tr [32].

$$L = \alpha \div \text{Tr} \dots \dots \dots (3.2).$$

Où:

Tr : est la portée du signal d'un nœud capteur qui est supposée pareille et identique pour tous les nœuds de capteurs du réseau.

Pour partitionner le réseau en L niveaux, la station de base utilise le mécanisme suivante : elle envoie L messages "welcome" contenant l'identifiant de la couche, elle est basée sur la variation de la puissance du signal suivant le nombre de sauts (*Le saut représente la portée de transmission d'un nœud capteur, tel que les nœuds distants de n sauts appartiendront au n^{ième} niveau*), après avoir reculer de différentes distances de la SB, par les nœuds, ils calculent la distance de la SB et mets à jour leurs identificateurs du niveau ID_niveau à l. A la fin de cette étape, le réseau est partitionné en L niveaux, où chaque nœud possède son propre ID_niveau, comme illustré sur la Figure 3.2.

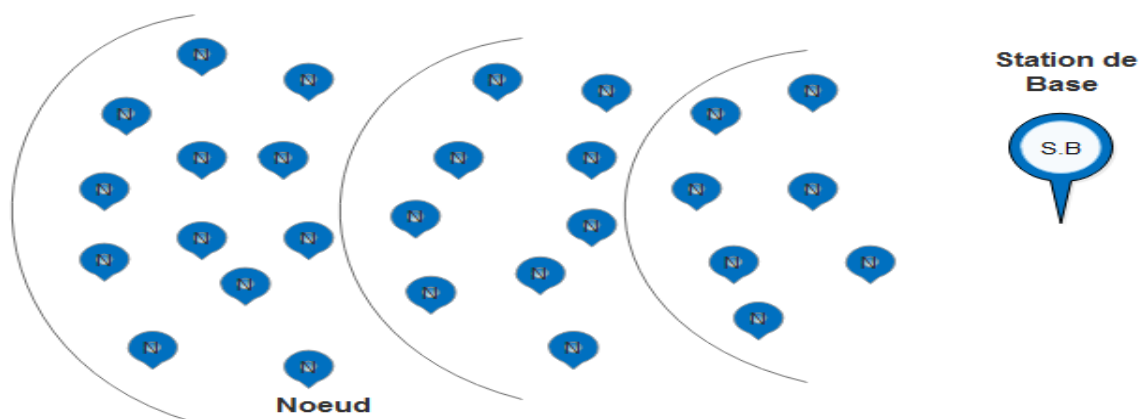


Figure 3.2 : Formation des niveaux.

4.1.2. Formation des clusters :

Une technique de découpage en zones est utilisée dans cette étape, chaque niveau sera divisé en un ensemble de **K** clusters.

La **SB** calcule le nombre de zone pour chaque niveau, sachant que la couche inférieure aura la plus grande valeur de **K** cluster. Le nombre de clusters **K** est directement proportionnel à la densité du niveau **N(I)** et indirectement proportionnel au nombre de niveaux **L** [32].

$$Kl = N(I)/(I \times L) \dots \dots \dots (3.3)$$

Où :

N(I) : est le nombre de nœuds dans la couche **I**.

I:est le numéro de niveau.

K :Le nombre de clusters.

L : le nombre de niveaux dans le réseau.

KI: variable pour stocker le nombre de clusters pour chaque niveau.

Après le calcul de **K**, la **SB** effectue un balayage horizontal avec un angle $\alpha=180/K$ sur chaque niveau du réseau. La **SB** envoie à chaque zone un paquet incluant un identifiant pour chaque zone sur tous les niveaux du réseau. Les clusters seront formés d'une façon à ce que chaque cluster soit composé de nœuds avec un même ID *niveau* et ID *zone*. A la fin de cette étape, chaque nœud possède son ID *niveau* et ID *cluster*.

Le principe de cette étape est illustré sur la figure suivante :

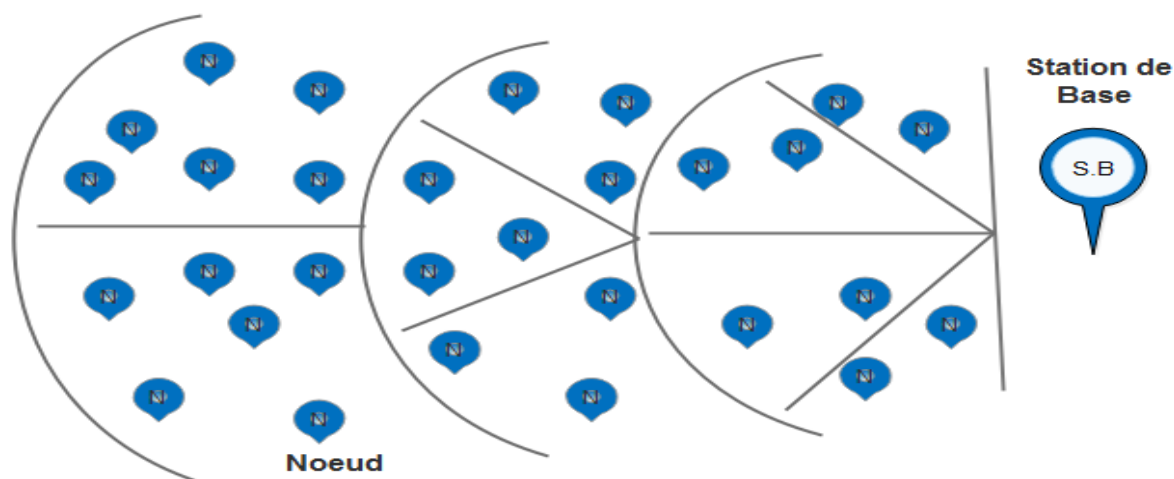


Figure 3.3 : Formation des clusters.

4.1.3. Election des chefs de clusters (head) CHs :

Cette étape est dévisée en trois sous phases :

- **Phase de découverte des voisins:**

Dans cette phase, chaque nœud envoie un message "**Discov-neigh-msg**" qui contient son identificateur. Tout nœud ayant reçu le message, émet immédiatement un "Discov-neigh-msg" de même type, alors chaque membre dispose de sa table de voisins lui permettant de savoir son coût qui est la taille de cette dernière. Donc, chaque nœud envoie son identificateur avec son coût à ses voisins avec un message "**cost**" qui font de même, à la fin de cette phase chaque nœud dispose d'une table qui contient l'identificateur et le coût de chacun de ses voisins. Cette procédure doit être exécutée à chaque round (*chaque rotation de cluster head*) (voir figure 3.3).

La solution proposée consiste à ne pas découvrir le voisinage à chaque fois que le processus de clustering soit déclenché, parce que les nœuds ne meurent pas de façon inattendue, et l'ensemble des voisins ne change pas très souvent. Au lieu de construire des nouvelles listes à chaque fois, les nœuds mettent automatiquement à jour l'ensemble de leurs voisins en envoyant périodiquement des messages "cost". On enregistre les listes remplies dans le premier round, et on fait la mise à jour de ces dernières au début de chaque round. le round lié directement avec l'énergie de chef de clustre (*un seuil d'énergie minimal qui permet à un nœud de continuer le fonctionnement mais comme nœud ordinaire*),

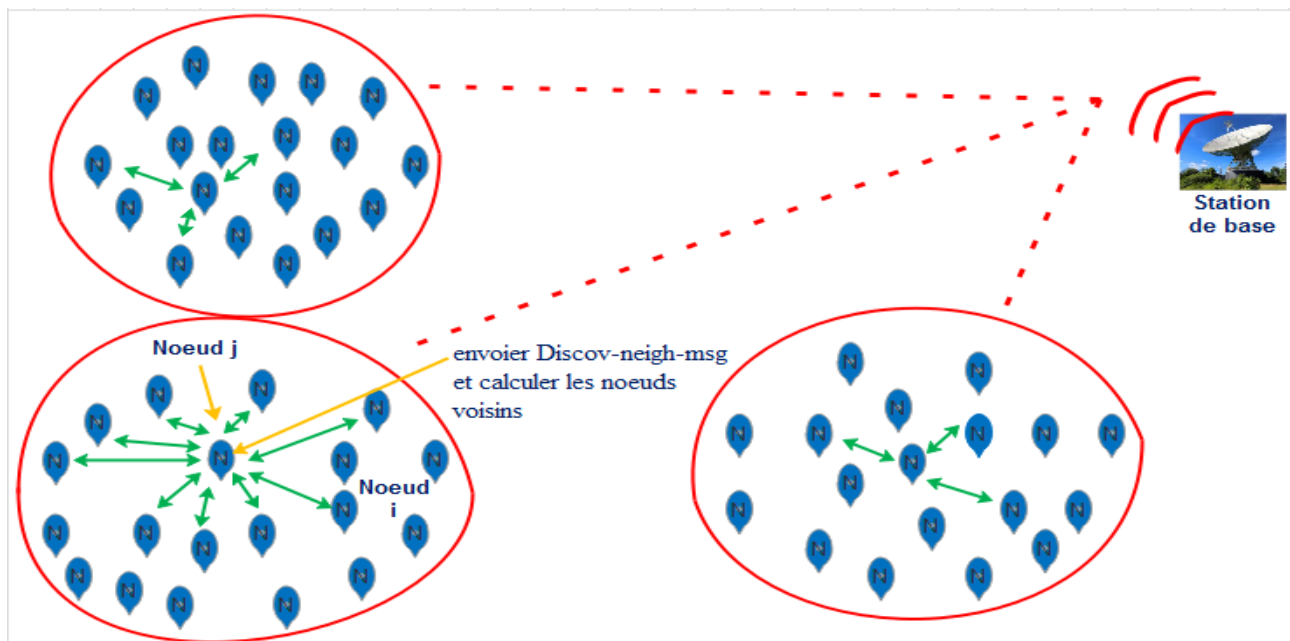


Figure 3.4 : Découverte du voisin.

- **Phase d'élection de CH :**

Dans cette phase d'élection du cluster-head on utilise une combinaison de métriques (*le degré de connectivité, l'énergie restante de chaque noeud et la distance*) pour choisir un nœud leader qui est le cluster-head temporaire.

Dans notre proposition, les nœuds concourent dans une compétition afin d'élire le candidat CH temporaire de cluster ensuite après on utilise le paramètre de distance pour définir le cluster-head final. L'élection CH temporaire, final et la formation de cluster dans le protocole LHCBM ont les objectifs suivants:

- Prolonger la durée de vie du réseau en répartissant la consommation d'énergie, minimiser la surcharge des messages de contrôles, millieur distribution sur la surface de réseau.
- Minimiser l'énergie consommée par chaque nœud dans la phase de transmission et ainsi prolonger la durée de vie du réseau.
- Atteindre une bonne connectivité du réseau et la maintenir durant la durée de vie.
- La condition d'un nœud pour être un CH temporaire. "Pch", est déterminée proportionnellement en utilisant une combinaison de quatre mesures principes:
 - ✓ La distance entre le nœud et la station de base.
 - ✓ L'énergie résiduelle du nœud et des voisins.
 - ✓ La distance entre les nœuds voisins.
 - ✓ Le nombre de voisins de nœud.

Nous avons proposé les équations suivantes (*Equations4-5-6-7*) pour élire le Cluster Head temporaire:

$$Pr1(i, j) = \max \sum_{i,j=1}^n \left(\frac{DBs, i}{DBs, j} \right) \dots \dots \dots (3.4)$$

DBs, i: la distance entre le nœud "i" et la station de base BS.

DBs, j: distance entre le nœud voisin "j" et la Station de base BS.

$$Pr2(i, j) = \max \sum_{i,j=1}^n \left(\frac{NVs, i}{NVs, j} \right) \dots \dots \dots (3.5)$$

NVs, i: nombre de voisins du nœud "i".

NVs, j: nombre de voisins du nœud voisin "j".

$$Pr3(i, j) = \max \sum_{i,j=1}^n \left(\frac{E, i}{E, j} \right) \dots \dots \dots (3.6)$$

Er, i: Energie résiduelle du nœud "i".

Er, j: Energie résiduelle du nœud voisin "j".

$$Pch(i, j) = \max \sum_{i,j=1}^n [\alpha Pr1(i, j) + \beta Pr2(i, j) + \gamma Pr3(i, j)] \dots \dots \dots (3.7)$$

Pch (i, j): le poids pour chaque nœud pour être un cluster-head temporaire .

α , β , γ : coefficient constant entre 0 et 1, pour favoriser la partie d'énergie dans l'équation en effet on à ajouter ces paramètres pour diminuer l'impact du degré et la distance dans le résultat final de poids qu'un nœud devient un CH (*le grande impacte liée à l'énergie*).

Chaque nœud de capteur (N_i) du réseau calcule son poids $Pch(i, j)$, puis il diffuse un message, appelé CH-ADV, vers d'autres nœuds. Ce message inclut l'ID du nœud et la valeur de la condition Pch . Dans le schéma de compétition proposé. Ce dernier est un paramètre fixe du système réseau, le nœud N_i attend pendant temps d'attente et il reçoit le message Pch -msg de tous les voisins. Notons que le temps d'attente ne devrait pas être trop court car certains nœuds n'ont pas reçu le message Pch -msg, et il ne devrait pas être trop long car il augmente la complexité du temps. Ensuite, il compare sa valeur de condition Pch avec celle de ses voisins. Si le nœud a trouvé la valeur de sa condition Pch supérieure à la valeur Pch de tous ses voisins, il

deviendra un cluster-head temporaire. Sinon, il envoie un message de jointure au voisin qui a la plus haute condition Pch pour devenir membre du Cluster.

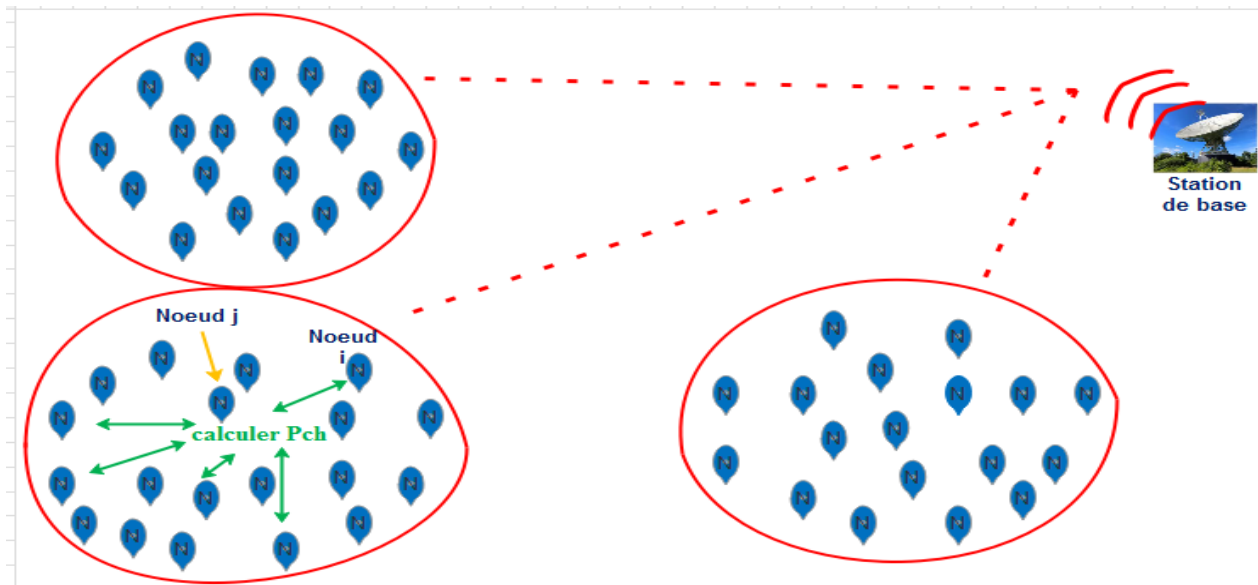


Figure 3.5 : Phase calculer la condition Pch .

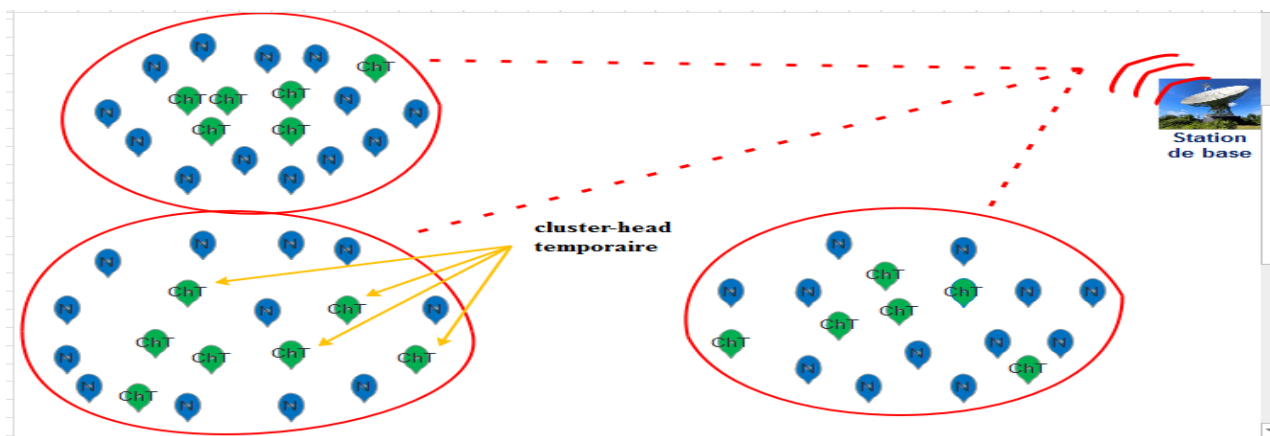


Figure 3.6 : Élection du cluster head temporaire.

- **Phase d'élection de cluster-head final :**

Dans cette sous phase on utilise une autre métrique pour choisir le cluster head final, après la sélection des cluster head temporaires, chaque CH temporaire doit diffuser un message CH-ADV contenant son IDi de nœud et la probabilité Pch (i). Lorsqu'un CHj temporaire reçoit ce message, il calcule la distance entre l'émetteur CHi et lui-même. Si cette distance est supérieure ou égale à une distance seuil, (D_{thd} proposé dans la phase de déploiement par la SB et liée directement avec le rayon de transmission), il ignore le message, mais si la distance (d_{chi} , d_{chj}) est inférieure à D_{thd} et si il trouve la valeur Pch (i) d'émetteur est supérieure à son propre Pch (j), alors le récepteur CHj temporaire devient un nœud ordinaire. Il envoie alors un message **Join-msg** vers le cluster-head émetteur CHi. Si deux CH temporaires sont sur le même niveau, la

distance entre eux est inférieure au seuil D_{thd} et ils ont le même P_{ch} , alors le CH temporaire avec l'identificateur le plus grand sera élu comme Cluster-head finale.

Le rôle de chaque CH final est de réaliser les trois tâches suivante :

- ✓ La première tâche est de recueillir périodiquement les données captées des nœuds du cluster et agréger les données dans le but d'éliminer les redondances des valeurs corrélées.
- ✓ La deuxième tâche du cluster head est de générer un programme d'accès multiple par répartition dans le temps par lequel les nœuds de capteurs reçoivent un intervalle de temps pour la transmission des données.
- ✓ La troisième consiste à transmettre les données agrégées au CH voisin ou directement à la station de base.

Ainsi, le rayon du cluster est déterminé par la puissance de transmission utilisée pour découvrir les voisins, qui est proportionnelle à la distance utilisée lors de l'envoi du message « Discov-neigh-msg ». Plus la puissance de transmission (*distance*) est élevée, plus le domaine de couverture d'un cluster augmente. La puissance de transmission détermine aussi le nombre de clusters : plus la distance de transmission est petite, plus le nombre de clusters augmente. Cette étape prend un temps, qui devrait être suffisamment long pour recevoir des messages de tout voisin dans le cluster. L'objectif principal de notre protocole LHCBM est de prolonger la durée de vie du réseau. Pour cela, la sélection des chefs est principalement basée sur l'énergie résiduelle de chaque nœud. Pour accroître l'efficacité énergétique, trois autres paramètres secondaires sont considérés : le coût des voisins, la distance entre les voisins, la distance entre lui-même et la station de base.

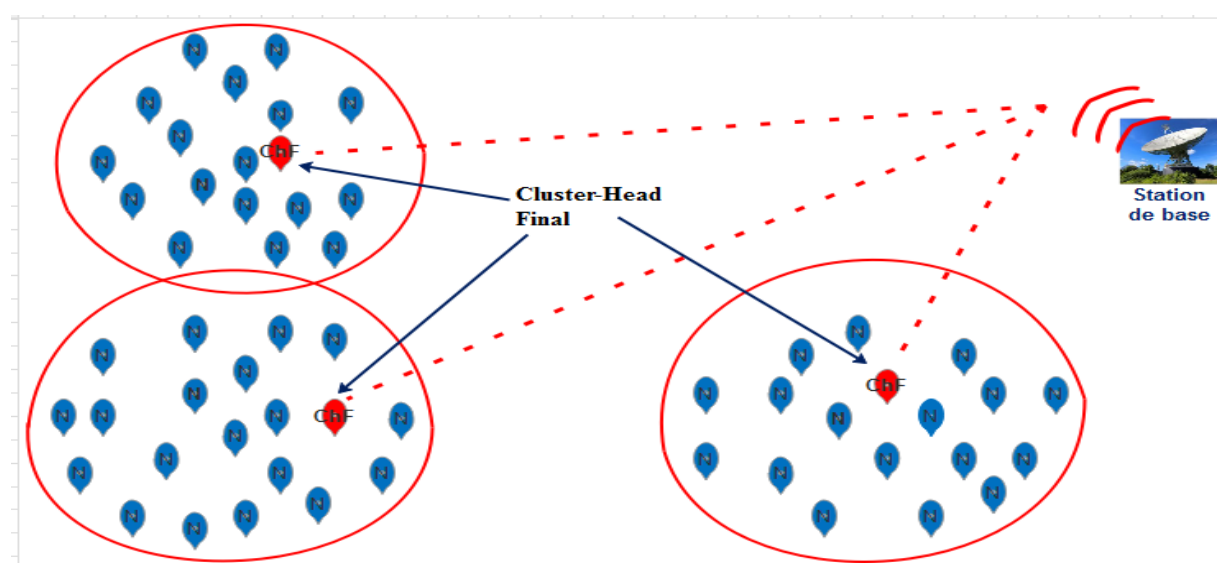


Figure 3.7 : Phase d'élection de cluster-head.

- **Final Gestion de la panne des cluster-heads:**

Comme perspective pour éviter le problème de panne de cluster-head du protocole LHCBM. La désignation d'un adjoint par chaque cluster head sert à assurer le routage des données même en cas de panne des CHs. Les membres peuvent envoyer leurs données vers l'adjoint et ce dernier peut participer au routage des données.

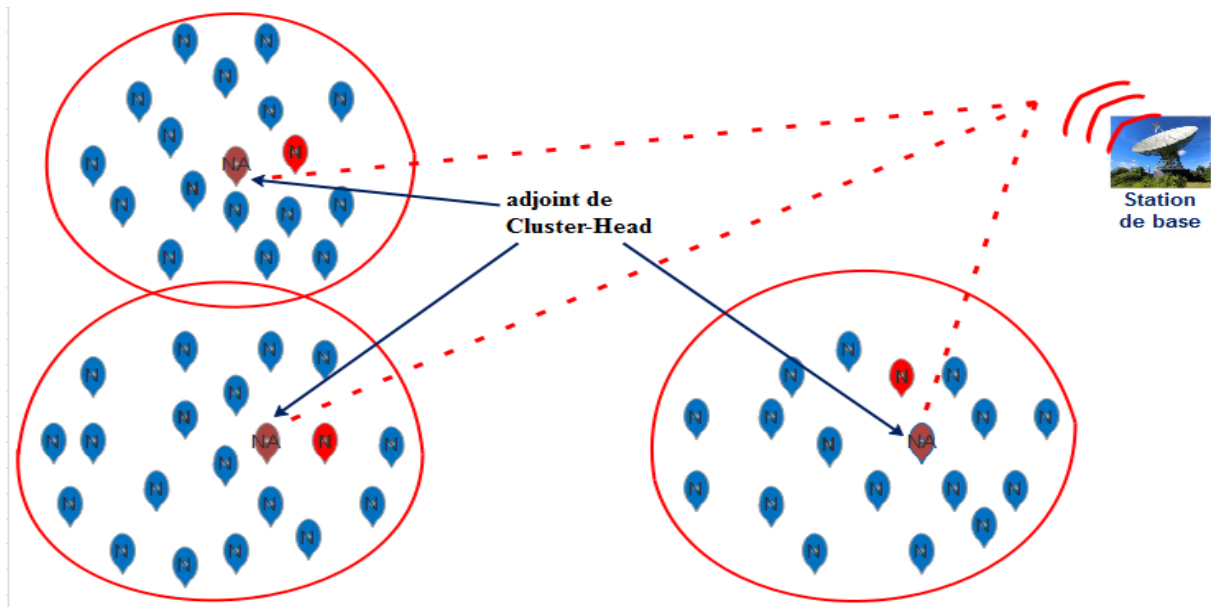


Figure 3.8 : Élection nouveau de cluster-head.

4.2. Phase de routage des données avec LHCBM:

Cette phase assure la collecte et l'acheminement des données, en utilisant le routage multi-chemin et multi-sauts, pour minimiser la consommation d'énergie des nœuds capteurs et garantir la qualité de service, qui signifie une réduction de perte paquet et minimiser temps de transfert de données vers la station de base.

4.2.1. Phase d'ordonnancement :

Concernant les CHs, chacun agit comme un centre de commande local pour coordonner les transmissions des données au sein de son cluster, il crée un ordonnanceur (*schedule*) TDMA et assigne à chaque nœud membre un slot de temps durant lequel, il peut transmettre ses données vers le nœud suivant.

On suppose avec les deux clusters, montrés dans la figure 3.9, avec un slot de temps égal 1 seconde, l'ordonnancement TDMA dans cluster 01 elle différente de l'ordonnancement dans le cluster 02.

Car dans le cluster 01 avec 12 nœuds ordinaire et un chef de clustre le temps final pour réinitialiser le jeton (*le temps nécessaire pour agréger les données*) avec le technique TDMA égal ou moins 12 seconde mais dans le cluster 02 égal ou moins 6s, donc il faut donne a chaque

cluster un ordonnancement TDMA spéciale .L'ensemble des slots assignés aux nœuds d'un cluster est appelé frame. La durée de chaque frame diffère selon le nombre des membres du cluster .

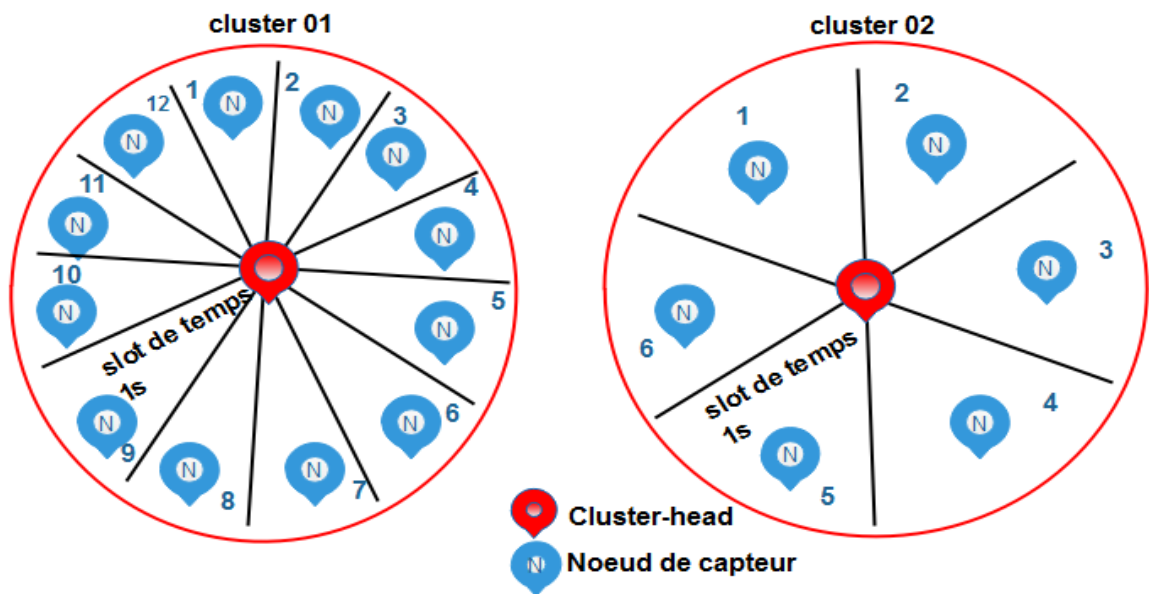


Figure 3.9 : Phase d'ordonnancement TDMA.

4.2.2. Phase de transmission :

La solution retenue le plus communément pour organiser un très grand RCSF est de regrouper les nœuds en clusters. Ce type d'organisation de communication basée sur un routage intra-cluster et inter-cluster permet de réduire le nombre de nœuds participant à des communications sur de longues distances. Chaque cluster des nœuds est identifié par un CH, permettant de regrouper les activités de son cluster comme le routage des données, leur agrégation, la synchronisation ...etc.

Les nœuds membres d'un cluster peuvent être actifs ou bien au contraire endormis (*afin de préserver leur énergie*) les membres actifs transmettent leurs données au CH auquel ils sont associés avec l'un de deux méthodes, avec détection d'un événement ou sur demandes. Les transmettons ces données jusqu' à la station de base.

- **La communication intra-clusters avec la technique TDMA:**

Après la formation des clusters et l'élection de CH pour chaque cluster, les nœuds membres envoient leurs données captées au CH de leur cluster associé.

A fin d'éviter les collisions lors de transmissions des données par les nœuds capteurs, en utilisant l'ordonnancement avec TDMA (*Time Division Multiple Access*), qui alloue aux nœuds membres des slots de temps (*time slot*) appelés frames effectués par leurs CHs a fin

d'émettre leurs données sans risque de collision. Cela permet aux nœuds capteurs d'éteindre leur interface de communication en dehors de leurs slots a fin d'économiser leurs énergies.

Ces données seront ensuite agrégées par le CH a fin d'éviter la redondance des données, donc Réduire la perte de paquets puis les envoyées au prochain nœud relais.

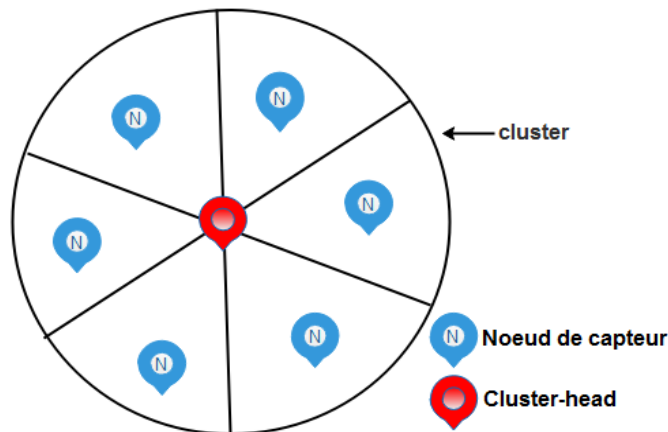


Figure 3.10 : Communication intra-cluster, avec technique TDMA.

- **Les communications inter-cluster:**

Dans cette phase nous avons proposé une nouvelle méthode afin d'implémenter les communications inter-cluster, cette méthode utilisé basé sur un signal envoie par la station de base et un angle de balayage égal $\Theta = 90^\circ$ pour diviser les réseaux on deux coté

- a droit de station de base coté 01 : $90^\circ \geq \Theta < 180^\circ$
- a gauche de station de base coté 02 : $0^\circ > \Theta < 90^\circ$
- Donc le routage se fait par coté et grâce a des identificateurs spéciale des clusters de chaque côté les CHs de coté droit identifie par un identificateur **D.numéro de cluster** et coté a gauche **G. numéro de cluster**. Voir la figure 3.11

Cette méthode permet de couvrir tous les capteurs et réduire la perte de paquets et économiser l'énergie et diminuer le délai de livraison des paquets.

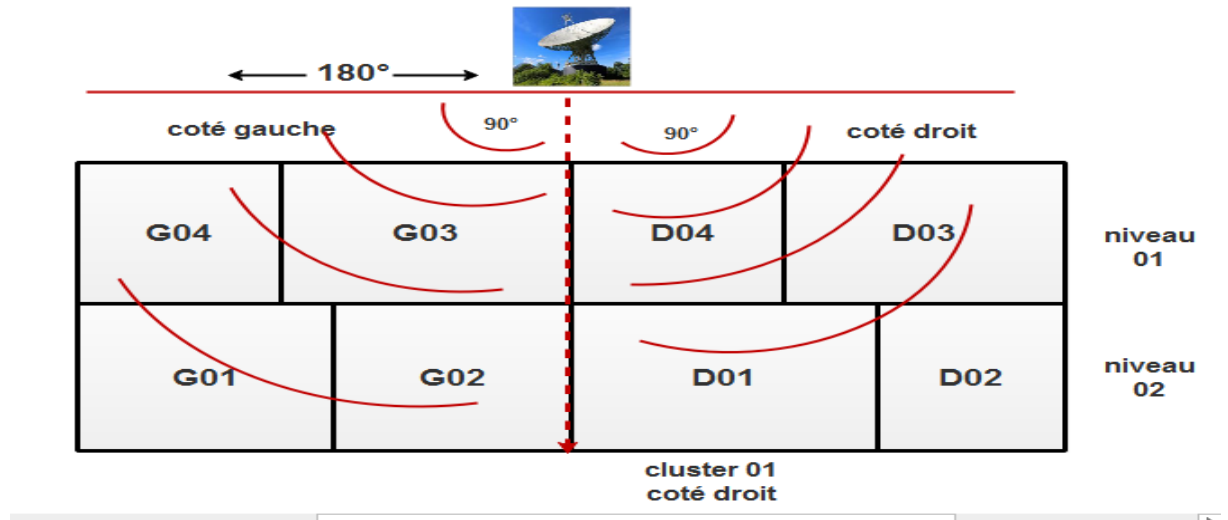


Figure 3.11 : Diviser le réseau on deux cotés.

On suit après la division de réseaux on deux cotés D et G on utilisé notre formule pour acheminer les données vers la station de base voir la formule suivante :

$$P_i = \alpha \times D_i + \beta \times N_i + \gamma \frac{E_{ri}}{E_{totale}} \dots\dots\dots(3.8)$$

Telque :

α, β, γ : ce sont des paramètres empiriques pour donner le grande impacte au degré de confiance a fin d’améliorer la QoS.

D_i : degré de confiance nœud i .

N_i : nombre de message acheminer par le nœud i initialisée par 1.

E_{ri} : l’énergie résiduelle de nœud i

E_{totale} : énergie de route .

Pour détecté le route efficace la méthode pour calculer le degré de confiance de chaque nœud

N_i

$$\text{Degré de confiance} = \text{distance} (N_i, SB) + D_c + \text{rendement} \dots\dots\dots(3.9)$$

- rendement = nombre de message envoie – nombre de message reçue
- D_c : c’est la degré de connectivité = nombre de voisins.
- Le degré de confiance de chaque N_i réinitialisé chaque round

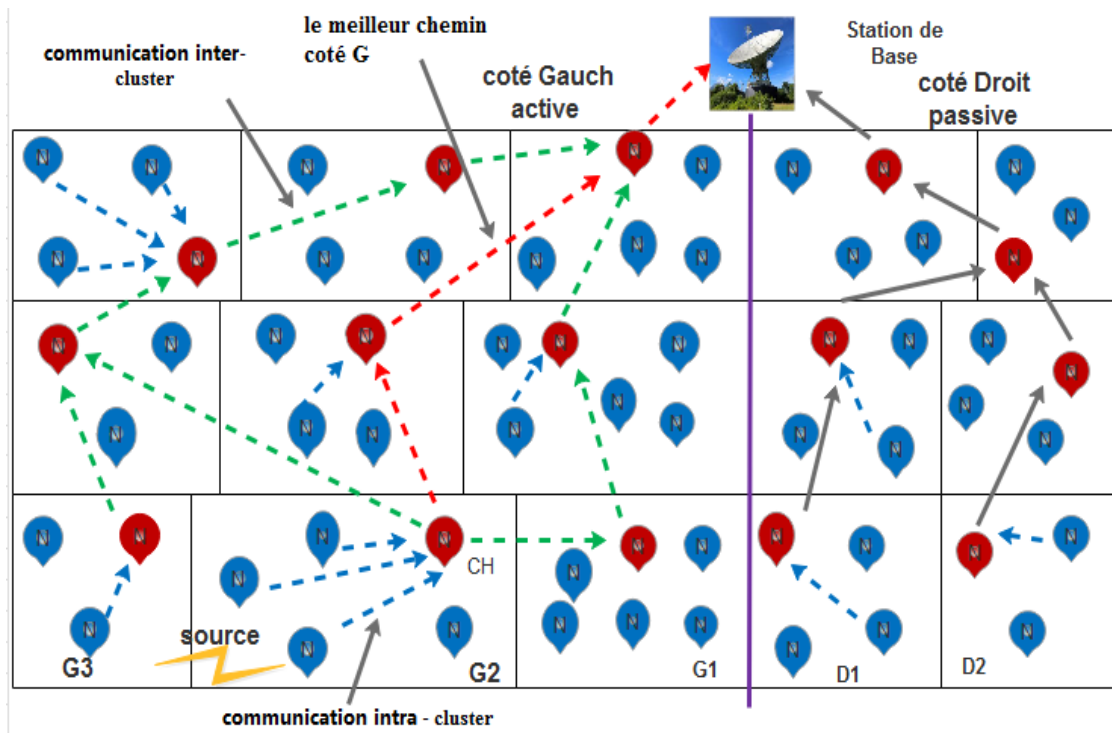


Figure 3.12 : Communication avec le millier chemin.

Après l'agrégation des données le CH envoie les données avec deux routes différents pour assurer la distribution vers la station de base et pour diminuer la surcharge sur le réseau et augmenté la fiabilité de réseau.

5. Simulation et évaluation du protocole LHCBM :

Dans cette section, nous évaluons les performances de LHCBM proposé par plusieurs expériences de simulation

5.1. Aperçu sur les simulateurs des réseaux de capteurs :

Ils existent plusieurs simulateurs qui peuvent être utilisé dans les réseaux de capteurs, entre autre on trouve :

NS2 (Network Simulateur) :

C'est un simulateur développé à La wende Berkeley National La bora tory (LBNL). Le langage de base de NS2 est C++. Il est conçu principalement pour le monde de l'Internet. Il permet de simuler le comportement des protocoles standard del'Internet tels que TCP/ IP et il permet également d'étendre le simulateur aux nouveaux protocoles de l'Internet (*routage, transport, application*) et aux nouvelles architectures.

OPNET (Optimum NET work Performance) :

C'est un simulateur à événement discret. C'est un ou titrés puissant dédié l'étude des réseaux de télécommunication. Au niveau architectural, OPNET se décompose en trois

paries : la partie modélisation, la partie teste et la partie évaluation chargée de l'analyse des résultats.

Matlab :

Le logiciel Matlab est un logiciel de manipulation de données numériques et de programmation dont le champ d'application est essentiellement les sciences appliquées. Son objectif, par rapport aux autres langages, est de simuler au maximum la transcription en langage informatique d'un problème mathématique, en utilisant une écriture la plus proche possible du langage naturel scientifique [33].

Nous avons choisi Matlab Simulator pour le développement de la solution de routage proposée car il dispose d'une large bibliothèque de fonctionnements particuliers celles qui manipulent les vecteurs et les matrices.

5.2. Les paramètres de la simulation :

la configuration de la simulation est expliquée et les résultats sont présentés. Une comparaison entre les résultats de la simulation des algorithmes LHCBM, SAR et CMRP est réalisée. Nous utilisons plusieurs scénarios pour les simulations. On a 600 nœuds sont uniformément et aléatoirement dispersés dans un champ de taille 500m x 500m .Pour étudier l'effet et d'échelle sur la performance de LHCBM, Nous avons également utilisé une taille de paquet de données de 10 kbits et une énergie initiale de 4joule On suppose que la station de base a' l'extérieur du champ. Les autres paramètres de la simulation sont résumés dans le tableau 3.1.

Paramètres	Valeur
La surface	500m × 500m
Taille du paquet de données	10kbits
Taille du paquet de contrôle	512bit
Nombre de nœuds capteurs	100/.../600
Énergie initiale	4 joule
Emplacement de la station de base	(50,100)
E_{elec}	50 nJ/bit
α	0.3
β	0.2
γ	0.5

Tableau 3.1 : Les paramètres de la simulation.

5.3. Distribution des nœuds :

La figure ci des sous représente le déploiement des nœuds aléatoirement dans la zone de captage Chaque type de symbole et couleur symbolise les nœuds du même niveau, et le triangle noir représente la station de base.

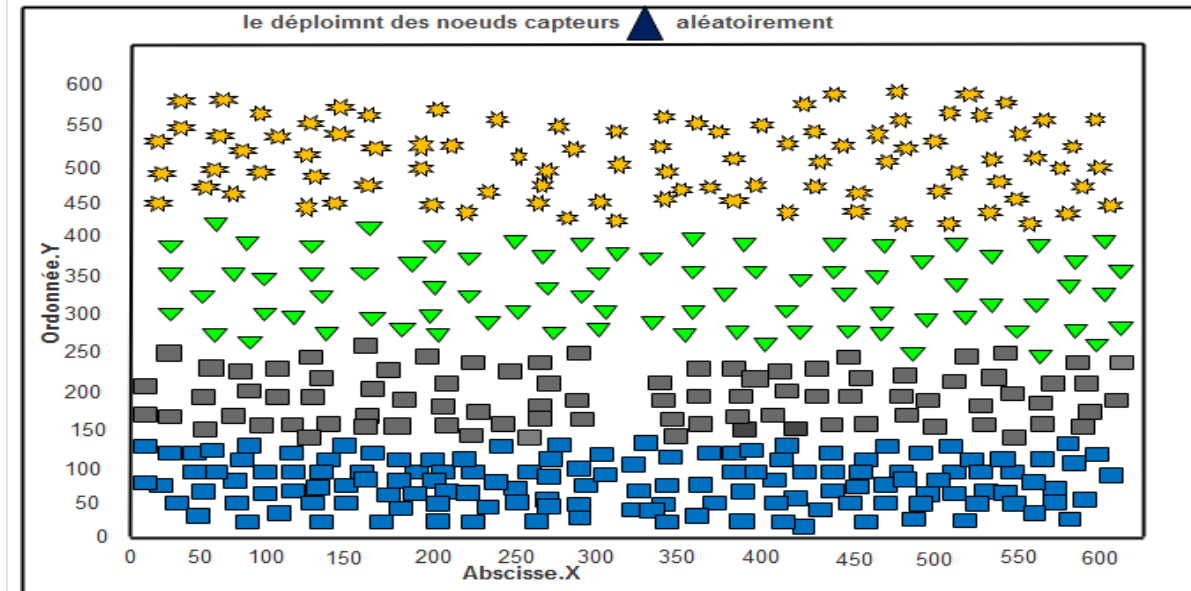


Figure 3.13 : Visualisation de la topologie du réseau.

5.4. Sélection des Clusters et les Clusters Heads :

La figure ci-dessous représente la zone de captage après la sélection des clusters et les CHs pour chaque cluster. Les clusters sont représentés par même type de symboles et même couleur petits carrés et les CHs par des cercles de même couleur sur le cluster. La figure montre que la station de base diviser du champ en deux côtés par une ligne droite rouge.

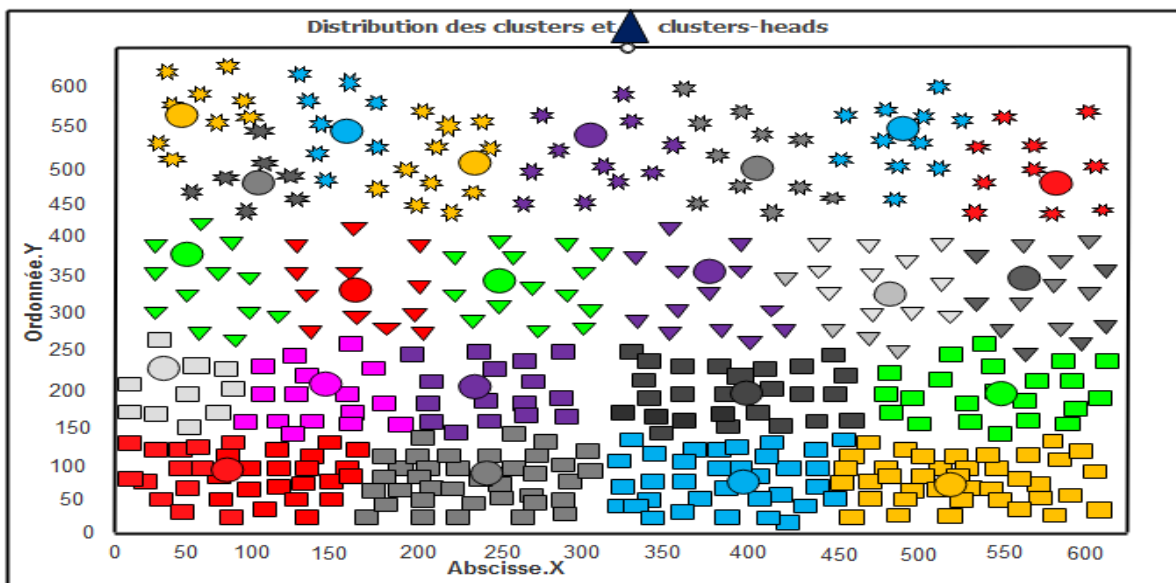


Figure 3.14 : Visualisation du réseau après la sélection des clusters et CHs.

5.5. Le chemin de transfert de paquets ver SB :

La figure 3.15 montre la répartition du chemin utilisé, entre les CHs. Les lignes noir connectées, représenté le meilleur Chemin de haute fiabilité pour envoyer un paquet des données de chaque côté à la BS, afin de réduire les paquets perdus.

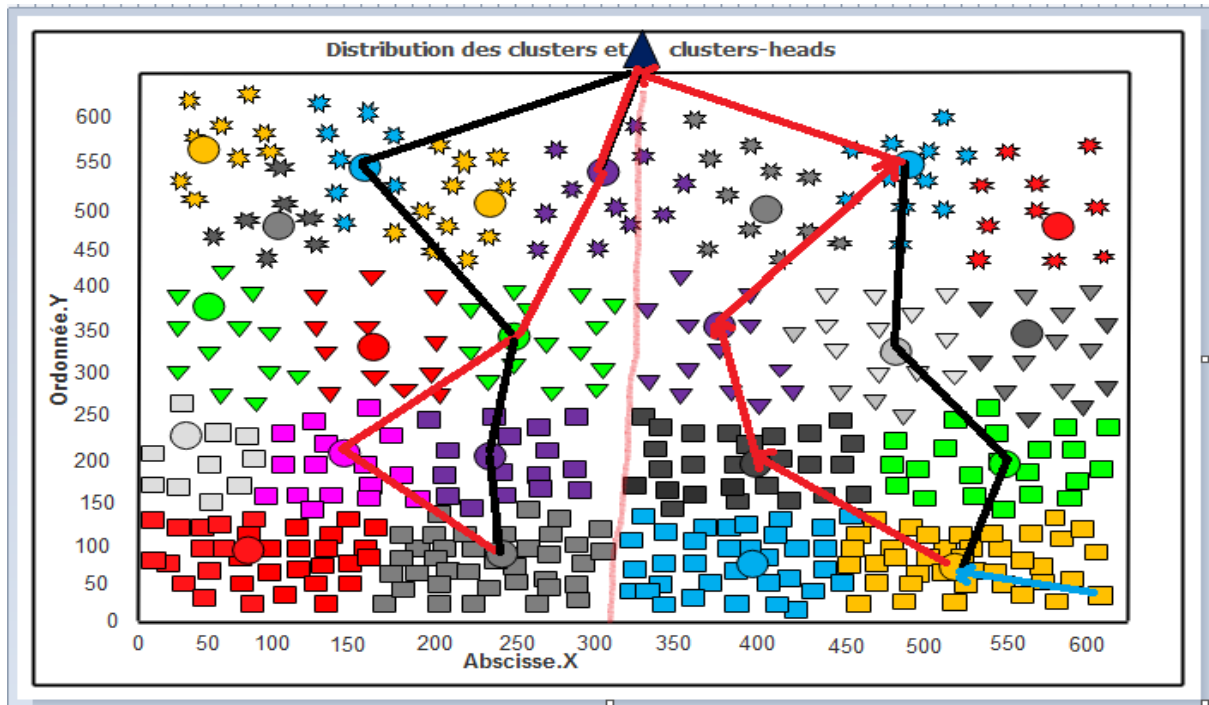


Figure 3.15 : Le chemin de routage des paquets avec cluster-heads.

6. Évaluation des résultats :

Nous avons testé les métriques suivante :

6.1. L'énergie consommée :

Le graphe de la Figure 3.16 représente l'énergie consommée en fonction du temps de simulation, On voit une consommation énergétique raisonnable et moyenne du protocole LHCBM par rapport aux protocoles CMPRP, la raison c'est que dans le protocole LHCBM la sélection de Cluster-Head est déterminée selon des métriques hybrides : énergie résiduelle, la distance entre le nœud et SB, le degré de nœud (*degré de connectivité*), le nombre des voisins, la distance entre les nœuds. Le gain en énergie de LHCBM est très avantageux relativement au autre protocole CMPRP et Pour ($t=900 s$, $LHCBM-E_{cons}= 1000mj$, $SAR-E_{cons}=450mj$, $CMPRP-E_{cons}=1800mj$). La raison principale de ce résultat est le nombre équilibré approprié de chefs de groupe avec changement périodique de ceux-ci et la répartition des clusters dans le réseau. LHCBM utilise une distribution des CHs sur tout le réseau total avec une sélection très spécifique des cluster-heads selon des formules mathématiques proposées, avec une communication par coté et communication multi-sauts inter-cluster.

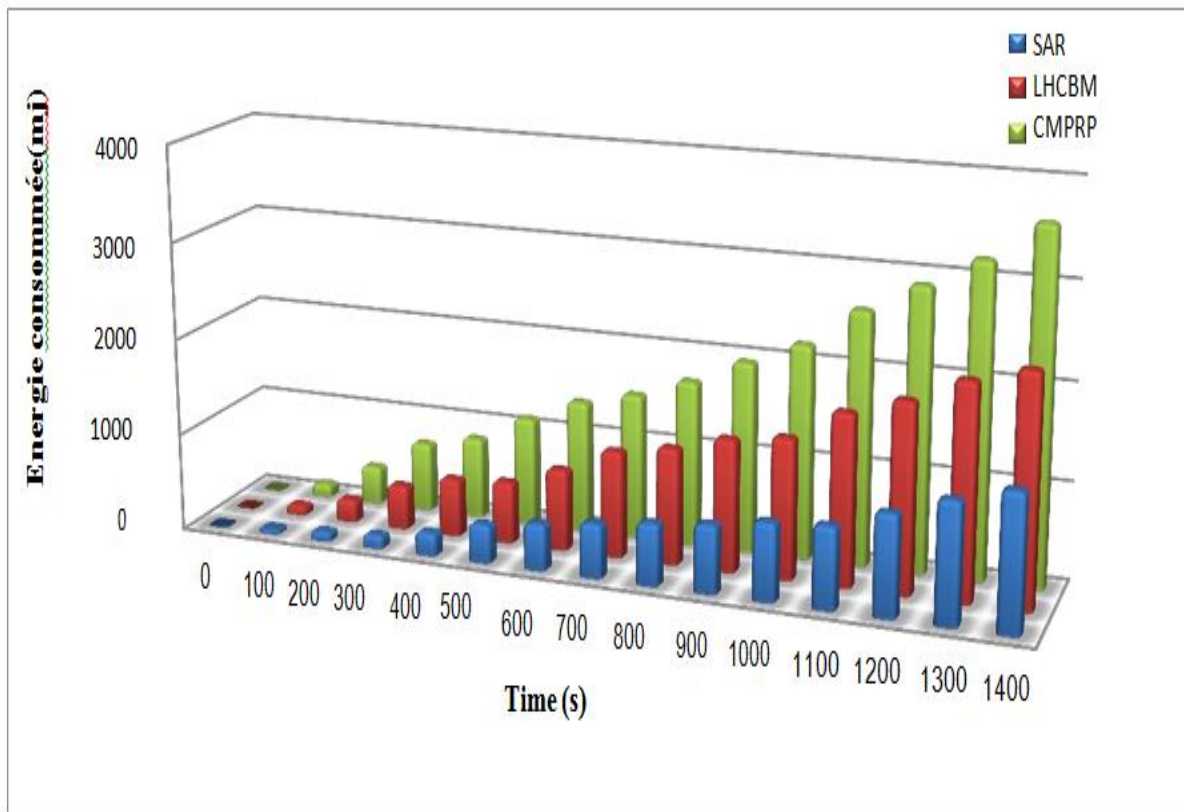


Figure 3.16 : L'énergie consommée au fil de temps.

6.2. Nombre de paquets délivrés à la BS :

La figure 3.17 représente le nombre total de données reçues à la Station de Base en fonction du temps (*les paquets envoyés, reçus et perdus*). Le protocole LHCBM proposé avec l'auto-adaptation des clusters et CHs montre que le nombre de données reçues par la station de base est plus élevé que le protocole SAR. Cela est dû à la durée de vie du réseau de capteurs qui est plus longue avec LHCBM qu'avec SAR car la communication est par deux coté. La performance de LHCBM est plus grande lorsque le nombre CHs est variable. Par exemple à l'instant t=4000s, le nombre de paquets est égal à 36×10^2 dans le protocole LHCBM alors que dans SAR le nombre de paquets est 18×10^2 donc le protocole LHCBM a une amélioration de 50%. Cet avantage offert par LHCBM est dû au mécanisme utilisé qui procure une grande possibilité et fiabilité d'envoi des données vers la station de base. Nous avons utilisé l'équation suivante (3.10) pour calculer la probabilité des paquets envoyés.

$$P_{qt} - recv = \frac{nb_succ_packet}{tot_nb_send_packet} \dots \dots \dots (3.10)$$

Talque :

- nb_succ_packet : Nombre de paquets reçus avec succès par la station de base.
- tot_nb_send_packet : Nombre total de paquets envoyés par chacun des capteurs.

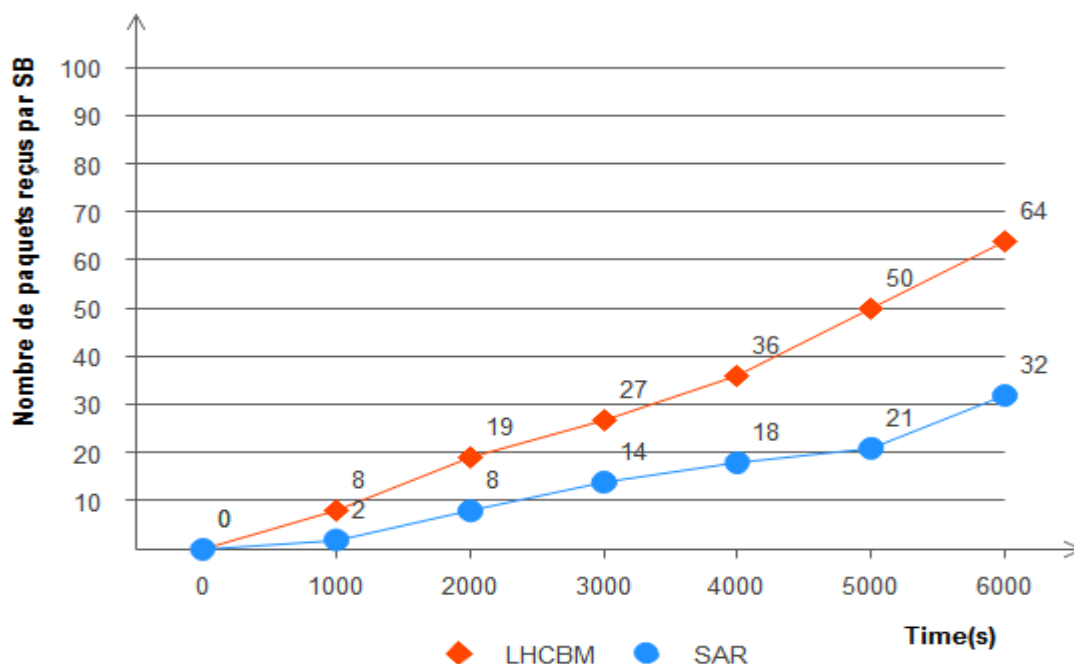


Figure 3.17 : Nombre de paquets délivrés à la BS.

6.3. comparative des trois protocoles (CMPPR, SAR et LHCBM) :

Protocol Caractéristiques	CMPPR (cluster Minimum Path Real Routing Protocol)	SAR (signal Adaptive Routing Protocol)	LHCBM (Propose de Protocol) (Level Hierarchical and Clustering based Blancing Multi path routing protocol for wireless sensor networks)
Efficacité énergétique	<i>Bonne</i>	<i>Excellent</i>	<i>Moyenne</i>
Stability des clusters	<i>Elevée</i>	<i>Moyenne</i>	<i>Excellent</i>
L'équilibrage de charge	<i>Mauvais</i>	<i>Elevée</i>	<i>Elevée</i>
Délai de livraison	<i>Moyenne</i>	<i>Moyenne</i>	<i>Excellent</i>
Évolutivité	<i>Faible</i>	<i>Faible</i>	<i>Bonne</i>
Fiabilité	<i>Bonne</i>	<i>Bonne</i>	<i>Elevée</i>
Perte de paquet	<i>Moyenne</i>	<i>Moyenne</i>	<i>Faible</i>
Qualité de service	<i>Bonne</i>	<i>Moyenne</i>	<i>Excellent</i>

Tableau 3.2 : Etude comparative des trois protocoles (CMPPR, SAR et LHCBM).

Comme le montre le tableau 3.2, notre proposition a amélioré la qualité de service, réduit la perte de paquets et augmenté la fiabilité, réduit le temps de livraison des données la raison c'est la divisé de réseau en deux coté pendant l'équilibrage de charge, la raison c'est la sélection de Cluster Head est déterminée selon des métriques hybrides, énergie résiduelle, la distance entre le nœud et BS, le degré de nœud (taux de connectivité), le nombre des voisins. Et réduit la consommation d'énergie pour prolonger la durée de vie de réseau.

Conclusion :

Dans ce dernier chapitre l'objectif est d'étudier la proposition de protocole LHCBM avec deux partie.

La première partie ce protocole avec les deux phases grâce à la réalisation d'une bonne distribution des cluster-Head final et améliorer le degré de connectivité, de plus la méthode de communication intra-cluster, avec technique TDMA, et communication inter clusters, basé par une formule pour acheminer le meilleur chemin de routage, on deux coté, afin d'assurer une livraison de paquets en utilisant moins d'énergie. Dans la deuxième partie la simulation MATLEB, son principe de fonctionnement ainsi que la plateforme de simulation utilisée.

Après avoir implémenté notre protocole LHCBM nous avons implémenté aussi les deux autres protocoles CMPRP et SAR afin de pouvoir les comparer et montrer les performances de notre protocole. L'étude comparative entre les trois protocoles est faite sur différentes métriques à savoir la distribution des cluster-heads, l'énergie consommée, le nombre de paquets délivrés à la station de base. Les résultats obtenus ont montré que le protocole LHCBM est plus performant par rapport aux deux autres.

Conclusion Générale

Les réseaux de capteurs sans fil sont une nouvelle technologie qui a surgi après les grands progrès technologiques, concernant le développement des capteurs, des processeurs puissants et des protocoles de communication sans fil. Ce type de réseau composé de certains ou de milliers d'éléments a pour but la collecte de données de l'environnement, leurs traitements et leurs disséminations vers le monde extérieur. Les applications des réseaux de capteurs sont nombreuses. Elle comprend différents domaines : médicale, agricole, militaire, etc.

Tout au long de ce mémoire, nous avons tout d'abord présenté le problème de routage concernant la qualité de service dans les réseaux de capteurs sans fil tout en distinguant le protocole de routage le plus performant. Dans un premier temps nous avons présenté un aperçu générale sur les réseaux de capteurs sans fil en donnant leurs caractéristiques. Puis nous avons exposé la définition de la qualité de service d'un réseau de capteurs sans fil. Les performances et la qualité de service sont les principales caractéristiques sur les quelles les travaux de recherche ont proposé d'améliorer les performances des réseaux de capteurs sans fils avec les protocoles de routage.

Notre objectif principal dans ce mémoire est de proposer un nouveau protocole de routage LHCBM (*Level Hierarchical Clustering based Balancing Multipath routing Protocol for Wireless Sensor networks*), qui prend la qualité de service des capteurs sans fil et diminue la perte de paquets avec une sélection efficace de chef de cluster pour l'amélioration de la communication dans les réseaux de capteurs sans fil.

Le regroupement des nœuds capteurs en groupes est basé sur certains attributs dépendante de leurs emplacements, la valeur de l'énergie résiduelle et la distance vers la station de base ainsi que la connectivité entre les nœuds (*nœuds voisins*). Le regroupement est une approche bien connue pour faire la transmission des données dans RCSFs. La métrique de la sélection de la tête de groupe dans les communications inter-cluster et intra-cluster dans plusieurs propositions par l'organisation des chefs de groupe dans une meilleure connectivité. L'agrégation des données a été présentée pour le routage sans fil dans les réseaux de capteurs. L'idée est de combiner les données provenant de différentes sources pour éliminer la redondance, minimiser le nombre de transmissions et ainsi maximiser la degré de fiabilité et qualité de service dans RCSFs.

Enfin, en guise de perspective nous envisageons d'améliorer notre protocole et la comparer avec d'autres protocoles qui prennent en meilleur chemin. Il sera aussi, préférable d'implémenter notre solution dans les simulateurs dédiés aux réseaux de capteurs sans fil (*ex. MATLAB... etc.*), pour pouvoir par la suite évaluer ses performances et la comparer avec d'autres protocoles qui prennent en considération les paquets delivrés vers la SB . Nous envisageons aussi d'améliorer

les performances de notre protocole de routage que ce soit au niveau de l'algorithme d'élection des clusters head, en prenant en considération la notion de décentralisation dans la sélection des cluster head.

Nous espérons que ce travail, soit d'une utilité pour une bonne qualité de service et garantir le meilleur chemin pour la transmission des données vers la station de base.

Références bibliographiques

- [01] Chee-Yee Chong, Srikanta P. Kumar, Sensor Networks: Evolution, Opportunités, and Challenges, 2010.
- [02] F. Akyildiz, W. Su, Y. Sankarasubramaniam, and E. Cayirci, A survey on sensor networks. IEEE Communications Magazine, vol 40, pp. 102-114, August, 2002..
- [03] Y.Youbi;Y.Isrig,Le problème d'exclusion mutuelle dans les réseaux mobiles ad hoc, Mémoire de master, Université A. Mira de Bejaia, Algérie [juin2010].
- [04] Al-Karaki, J.N. and A.E. Kamal, *Routing techniques in wireless sensor networks: a Survey*. IEEE wireless communications, 2004.11(6): p.6-28.
- [05] Antoine Gallais, François Ingelrest, Jean Carle, and David Simplot-Ryl. Maintien de la couverture de surface dans les réseaux de capteurs avec une couche physique réaliste. In Colloque Francophone sur l'Ingénierie des Protocoles (CFIP 2006), 2006.
- [06] Kamal BEYDOUN, Conception d'un protocole de routage hiérarchique pour les réseaux de capteurs, Grade de Docteur, L'université de FRANCHE-COMTE, 16 décembre2009.
- [07] Mehdi Boullegue, Protocoles de communication et optimisation de l'énergie dans les réseaux de capteurs sans fil , These de doctorat , Université Bretagne Loire [année 2016].
- [08] Mekki nabil , Mohammedi kada ,Techniques de conservation d'énergie pour les réseaux de capteur sans fil , Mémoire Master, UNIVERSITE Dr, TAHAR MOULAY SAIDA , juin 2018 .
- [09] <http://www.urec.cnrs.fr/IMG/pdf/cours.sf.pdf>.
- [10] <http://www.commentcamarche.net/contents/wireless/wlintro.php3> consultation avril 2020.
- [11] Mohamed Lamine Lamali , Qualité de service et calcul de chemins dans les réseaux inter-domaine et multicouches , Thèse doctorat . Thèse doctorat. Université de Versailles Saint Quentin [2015].
- [12] Antoine Mahul . Apprentissage de la qualité de service dans les réseaux multiservices: applications au routage optimal sous contraintes , Thèse de doctorat.I. Université Blaise pascal - clermont-ferrand II. [année 2012].
- [13] Khalid El Gholami. La gestion de la qualité de service temps-réel dans les réseaux de capteurs sans fil , Mémoire doctorat , UNIVERSITÉ BLAISE PASCAL - CLERMONT II [année 2015].
- [14] Cédric RAMASSAMY, Analyse des protocoles des Réseaux de capteurs sans-fil, Thèse

de Doctorat, Université des antilles et de la guyane, 2012.

[15] Jamal N. Al-Karaki Ahmed E. Kamal, *Routing Techniques in Wireless Sensor Networks: A Survey*, Rapport Technique, Dept of Electrical and Computer Engineering Iowa State University, Ames, Iowa 50011, 37p

[16] A. Delye, V. Gauthier, M. Marot, and M. Becker. *Etat de l'art sur les réseaux de capteurs*. Rapport de Recherche INT N-05001RST GET-INT, UMR5157 SAMOVAR, Institut National des Télécommunications, Evry, France, 2005.

[17] J.N Al-Karaki et A. E. Kamal. *Routing Techniques in Wireless Sensor Networks : A Survey*, Magazine : IEEE Communications, Dec. 2004.

[18] Yaser Yousef, *Routage pour la gestion de l'énergie dans les réseaux de capteurs sans fil*, Thèse de Doctorat, Université de Haute Alsace - Mulhouse, 2010.Français.

[19] W.R. Heinzelman, A.P. Chandrakasan, and H. Balakrishnan, *An application specific protocol architecture for wireless microsensor networks*, IEEE Transactions Wireless Communications. October 2002, Vol. 1, 4,p 660-670.

[20] C.Thangaraj S.Ranjani,S.R.Krishman. *Energy-Efficient Cluster Based Data Aggregation for Wireless Sensor Networks*. CF1 compus, Tharamani, Chennai 600 113, Tamilnadu , India, 2012.

[21] Adel Chouha, *Traitement et Transfert d'images Par Réseau de Capteurs sans Fil*, *Mémoire de Magister en Informatique*, Université Hadj Lakhder – Batna ,2011.

[22] Xing Shao, Cui-Xiang Wang, and Yuan Rao. (2015). "Network Coding Aware QoS Routing for Wireless Sensor Network". Journal of Communications Vol. 10, No. 1. DOI:10.12720/jcm.10.1.24.32.

[23] M.J.Brown, "Users Guide Developed for the JBREWS Project", Technical Report LAUR- 99-4676, Los Alamos National Laboratory of California University.

[24] Zone Routing Protocol (ZRP) Nicklas Beijar Networking Laboratory, Helsinki University of Technology P.O. Box 3000, FIN-02015 HUT, Finland Nicklas.Beijar@hut.fi.

[25] W. Heinzelman, J. Kulik, and H. Balakrishnan, "Adaptive Protocols for Information Dissemination in Wireless Sensor Networks," Proc. of the ACM/IEEE Conference on Mobile Computing and Networking (MobiCom), pp. 174-185, Seattle, WA, Aug. 17-19, 1999

[26] Marina, M.K.; Das, S.R. On-Demand Multipath Distance Vector Routing in Ad Hoc Networks In Proceedings of the 9th International Conference on Network Protocols, Riverside, CA, USA,11-14 November 2001; pp. 14-23.

[27] K. Sohrabi, J. Gao, V. Ailawadhi et G.J. Pottie. Protocols for selforganization of a wireless sensor network. Personal Communications, IEEE, vol. 7, no. 5, pages 16 –27,

Octobre 2000. (Cité en page 36.)

[28] Fan Ye, A. Chen, Songwu Lu et Lixia Zhang. A scalable solution to minimum cost forwarding in large sensor networks. In *Computer Communications and Networks*, 2001. Proceedings. Tenth International Conference on, pages 304 –309, 2001. (Cité en page 36.)

[29] Tian He, John A Stankovic, Chenyang Lu et Tarek Abdelzaher. SPEED : A Stateless Protocol for Real-Time Communication in Sensor Networks. *Distributed Computing Systems, International Conference on*, vol. 0, page 46, 2003. (Cité en page 37.)

[30] Emad Felemban, Chang-Gun Lee et Eylem Ekici. MMSPEED : Multipath Multi-SPEED Protocol for QoS Guarantee of Reliability and Timeliness in Wireless Sensor Networks. *IEEE Transactions on Mobile Computing*, vol. 5, pages 738–754, 2006. (Cité en page 37.)

[31] Gherbi, C., Aliouat, Z. and Benohammed, M. (2016), “An adaptive clustering approach to dynamic load balancing and energy efficiency in wireless sensor networks”. *Journal of Energy*. Vol. 114, pp 647–662.

[32] Akli ABBAS, Mourad AMAD, Fatma AMOKRANE, LCHREP: Layer and Cluster based Hierarchical Routing and Energy Optimization Protocol in Wireless Sensor Networks, in *The Journal of Digital Information Management (JDIM)*, Vol.18, N4, 2020

[33] Attea Baraa A, Khalil Enan A. (2012) “A new evolutionary based routing protocol for clustered heterogeneous wireless sensor networks. *Appl Soft Comput*. Vol 12, No 7, pp 195-207.

Résumé

Dans cette mémoire. Nous nous sommes intéressés aux paramètres suivants : la qualité de service, la fiabilité, le facteur d'échelle, l'équilibrage de la charge et la topologie dynamique dans RCSFs. Nous avons proposé un protocole de routage LHCBM (Level and Hierarchical Clustering based Balancing Multipath routing protocol). Pour la réalisation d'une bonne distribution des clusters- heads dans le modèle de réseaux ,et communiquer les informations à la station de base.par des mécanismes d'agrégation dans le but d'éliminer les données redondantes et qui par conséquent, dégrade les performances du réseau . dans ce cas, un mécanisme de gestion la qualité de service devient indispensable L'approche proposée vise à remplir pour augmenté la degré de fiabilité. Cela a eu comme conséquence directe l'extension de la perte de paquets. L'équilibrage de la communication des clusters et La station de base envoyer un signal par côté doivent prendre en compte les métriques pour diminuer la latence et la perts de paquets, L'évaluation de performances du protocole proposé montre qu'il assure une réduction de paquets perdus et degré de fiabilité considérable.

Mots clés: Réseaux de capteurs, Clustering, qualité de service (perte de paquets, fiabilité, degré de connectivité), routage Level and hiérarchique.

Abstract

In this memory. We were interested in the following parameters: quality of service, reliability, scale factor, load balancing and dynamic topology in RCSFs. We have proposed a LHCBM routing protocol (Level and Hierarchical Clustering based Balancing Multipath routing protocol). for the realization of a good distribution of the clusters-heads in the network model, and to communicate the information to the base station. by aggregation mechanisms in order to eliminate the redundant data and which therefore degrades the network performance. In this case, a quality of service management mechanism becomes essential. The proposed approach aims to fulfill in order to increase the degree of reliability. This directly resulted in the extension of packet loss. The balancing of the communication of the clusters and The base station sending a signal by side must take into account the metrics to decrease the latency and the packet loss, The performance evaluation of the proposed protocol shows that it ensures a reduction of lost packets and considerable reliability.

Keywords: Sensor networks, Clustering, quality of service (packet loss, reliability, degree of connectivity), Level and hierarchical routing.

ملخص

في هذه المذكرة اهتمنا بالمعايير التالية: جودة الخدمة ، والموثوقية ، وعامل القياس ، وموازنة الحمل ، والطوبولوجيا الديناميكية في RCSFs. لقد اقترحنا بروتوكول توجيه LHCBM (بروتوكول توجيه متعدد المستويات قائم على المستوى والتسلسل الهرمي). من أجل تحقيق التوزيع الجيد لرؤوس العناقيد في نموذج الشبكة ، وإيصال المعلومات إلى المحطة الأساسية عن طريق آليات التجميع من أجل القضاء على البيانات الزائدة عن الحاجة والتي تؤدي بالتالي إلى تدهور أداء الشبكة. في هذه الحالة ، تصبح آلية إدارة جودة الخدمة ضرورية ، ويهدف النهج المقترح إلى تحقيقه من أجل زيادة درجة الموثوقية. أدى هذا بشكل مباشر إلى تمديد فقدان الحزمة. يجب أن تراعي موازنة اتصال المجموعات والمحطة الأساسية التي ترسل إشارة جنباً إلى جنب المقاييس لتقليل زمن الوصول وخسارة الحزمة ، ويظهر تقييم أداء البروتوكول المقترح أنه يضمن تقليل الحزم المفقودة والكبيرة إمكانية الاعتماد عليه.

الكلمات المفتاحية: شبكات الاستشعار ، التجميع ، جودة الخدمة (فقدان الحزمة ، الموثوقية ، درجة الاتصال) ، المستوى والتوجيه الهرمي.