

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République algérienne démocratique et populaire
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique
المركز الجامعي لعين تموشنت
Centre Universitaire Belhadj Bouchaib d'Ain-Temouchent
Institut de Technologie
Département de Génie Electrique



Projet de fin d'études
Pour l'obtention du diplôme de Master en :
Domaine : TECHNOLOGIE
Filière : GENIE ELECTRIQUE
Spécialité : Réseau et Télécommunication

Thème

Protocoles de communication et optimisation de l'énergie dans les réseaux de capteurs sans fil

Présenté Par :

1) Melle. GRICHE YAMINA.

Devant les jurys composés de :

Mr.DEBBAL	MCB	C.U.B.B (Ain Temouchent)	Président
Mr K.Bendimerad	MAA	C.U.B.B (Ain Temouchent)	Encadrant
Mme S. Souiki	MAB	C.U.B.B (Ain Temouchent)	Examineur

Remerciements

Tout d'abord, je tiens à remercier ALLAH de nous avoir donné la force, la patience et le courage pour arriver à accomplir ce travail. Je tiens à exprimer ma profonde gratitude à notre cher enseignant et encadrant Mr BENDIMRED pour son encadrement, son suivi et pour son énorme soutien durant toute la période de ce travail. Mes remerciements vont droit à tous mes enseignants et à l'ensemble du corps professoral du département Génie Électrique. J'adresse aussi mes vifs remerciements aux membres de jury de bien vouloir accepter d'évaluer ce modeste travail.

Je remercie toutes les personnes qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

GRICHE YAMINA.

Dédicace

Rien n'est aussi beau à offrir que

*Le fruit d'un labeur qu'on dédie du fond du cœur à ceux qu'on aime
en exprimant toute notre gratitude et notre reconnaissance.*

Je dédie ce modeste travail :

Mes très chers parents

*Pour leur soutien ; leurs sacrifices et leurs encouragements
Que nul remerciement ne peut exprimer mon amour le plus sincère
envers eux!*

La mémoire de ma grande mère que Dieu a pitié d'elle

Mes sœurs SALIMA et DJOHAR et mon petit frère MOHAMMED

YASSER

Et une dédicace spéciale à

*Ma chère KHADIDJA pour tous les bons moments qu'on a vécu
ensemble,*

Je te remercie ma chérie

Pour votre aide et votre encouragement et soutien morale.

*Mes amis KHALIL et ABIR personnes qui m'ont toujours aidé et
encouragé, qui étaient toujours à mes côtés.*

GRICHE YAMINA.

Tables des matières

REMERCIEMENT	I
DEDICACES	II
TABLES DES MATIERES	III
LISTE DES TABLEAUX	VII
LISTE DES FIGURES	VII
GLOSSAIRE	VIII
RESUME	III

INTRODUCTION GENERALE.....	1
----------------------------	---

<p style="text-align: center;">Chapitre I : Généralités sur les réseaux de capteurs sans fil</p>
--

I.1 Introduction.....	2
I.2 Les réseaux de capteurs sans fil (RCSFs).....	2
I.2.1 Un capteur.....	2
I.2.2 Architecture matérielle d'un capteur.....	2
I.2.2.1 Unité d'énergie.....	3
I.2.2.2 L'unité d'acquisition (captage).....	3
I.2.2.3 L'unité de traitement.....	3
I.2.2.4 L'unité de communication.....	3
I.2.2.5 Unité de stockage(Mémoire).....	3
I.2.2.6 Système de localisation.....	3
I.2.2.7 L'unité de mobilité.....	4
I.2.2.8 Générateur d'énergie.....	4
I.2.2 Définition d'un réseau de capteurs sans fil (RCSF).....	4
I.2.3 Architecture de communication dans les RCSF.....	4
I.2.4 Caractéristiques d'un réseau capteur sans fil.....	5

Tables des matières

I.2.4.1 L'énergie.....	5
I.2.4.2 La portée de transmission.....	5
I.2.4.3 La puissance de stockage et de traitement.....	5
I.2.4.4 Déploiement.....	6
I.2.4.5 Durée de vie.....	6
1.2.5 La communication dans RCSF (Le fonctionnement de la pile protocolaire).....	6
I.2.6 Facteurs de Conception des réseaux de capteurs.....	8
I.2.6.1 Adaptabilité.....	8
I.2.6.2 Topologie du réseau.....	8
I.2.6.3 Média de transmission.....	8
I.2.6.4 Consommation d'énergie.....	8
I.2.7 Consommation d'énergie dans les RCSF.....	9
I.2.7.1 Energie de capture.....	9
I.2.7.2 Energie de traitement.....	9
I.2.7.3 Energie de communication.....	9
I.2.8 Facteurs intervenants dans la consommation d'énergie.....	9
I.2.8.1 Etat du module radio.....	10
I.2.8.2 Accès au support de transmission.....	10
I.2.8.3 Modèle de propagation radio.....	10
I.2.8.4 Routage des données.....	10
I.3 Conclusion.....	11

Chapitre II :

Protocoles de routages dans les RCFS

II.1 Introduction.....	12
II.2 Protocoles de routages dans les RCFS.....	12
II.2.1 Définition de routage.....	12
II.2.2 Les types de routage.....	12
II.2.2.1 Routage à plat (ou routage centré sur les données).....	12
II.2.2.2 Routage hiérarchique.....	13
II.2.2.3 Routage basé sur la localisation.....	13
II.2.2.4 Routage proactif.....	14
II.2.2.5 Routage réactif (routage à la demande).....	14

Tables des matières

II.2.2.6 Routage hybride (à la fois proactif et réactif).....	15
II.2.3 Les critères de performance des protocoles de routage en RCSF.....	15
II.2.3.1 Evolutivité.....	15
II.2.3.2 Alimentation.....	15
II.2.3.3 Temps de traitement.....	15
II.2.3.4 Schéma de transport.....	15
II.2.3.5 Capacité du réseau.....	16
II.2.3.6 Synchronisation.....	16
II.2.3.7 Contrôle de paquet.....	16
II.2.4 Classification des protocoles de routage dans les RCSF.....	16
II.2.4.1 Protocole de routage multi-chemin.....	17
II.2.4.2 Protocole de routage basé sur la négociation des données.....	17
II.2.4.3 Protocole de routage basé sur les interrogations.....	17
II.2.4.4 Protocole de routage basé sur la QoS.....	17
II.2.4.5 Les protocoles de routage plat.....	17
II.2.4.6 Les protocoles de routage avec localisation.....	18
II.2.4.7 Protocoles de routage hiérarchique.....	19
II.2.5 Les protocoles de routage choisis pour l'étude.....	19
II.2.5.1 Le protocole LEACH.....	20
II.2.5.2 Le Protocole RING Routing.....	21
II.3 Conclusion.....	23

Chapitre III:

Implémentation – Etude de cas

III.1 Introduction.....	24
III.2 Outils et logiciels utilisés.....	24
III.2.1 OMNET ++.....	24
III.2.1.1 Définition.....	24
III.2.1.2 Le choix de la plateforme simulation.....	24
III.2.1.3 Architecture de l'OMNET++.....	24
III.2.1.4 Les principaux fichiers d'OMNET++.....	26
III.2.1.5 Les extensions de la plateforme OMNET++.....	28

Tables des matières

III.2.2 Castalia.....	28
III.2.2.1 Le module MAC.....	28
III.2.2.2 Le Module Radio.....	28
III.2.2.3 Canal sans fil.....	28
III.2.2.4 Le module Routage.....	29
III.2.2.5 Le module Application.....	29
III.2.2.6 Les Commandes Castalia.....	29
III.3 Environnement de Simulation.....	30
III.3.1 Environnement matériel.....	30
III.3.2 Environnement logiciel.....	30
III.4 La partie implémentation et simulation.....	30
III.4.1 Le but de simulation.....	30
III.4.2 Implémentation des protocoles de routages.....	30
III.4.2.1 Etape d'importation d'un protocole de routage dans le projet CASTALIA.....	30
III.4.2.2 Configuration du fichier d'initialisation des paramètres de simulation (omnet.ini).....	31
III.5 Exécution de la simulation et présentation des résultats Obtenus.....	32
III.5.1 Paramètres de simulation.....	32
III.5.2 Présentation et discussions des résultats obtenus.....	32
III.5.2.1 Nombre de paquet transmet.....	32
III.5.2.2 La Consommation d'énergie.....	36
III.6 Conclusion.....	37
<hr/>	
Conclusion générale.....	38
Références bibliographiques	

LA LISTE DES TABLEAUX

Tableau II.1 : Format de paquet.....	22
Tableau III.1 : les commandes Castalia avec leurs rôles.....	29
Tableau III.2 : Caractéristiques générales du PC utilisé pour la simulation.....	30
Tableau III.3 : Code source du fichier d'initialisation omnet.ini.....	32

LA LISTE DES FIGURES

Figure I.1 : Architecture matérielle d'un capteur.....	2
Figure I.2 : Architecture de communication dans les RCSF.....	5
Figure I.3 : La pile protocolaire de communication.....	7
Figure II.1 : Classification des protocoles de routage dans les RCSF.....	16
Figure II. 2 : Routage plat.....	18
Figure II. 3 : Routage basé sur la localisation.....	18
Figure II.4 : Routage hiérarchique.....	19
Figure II.5 : Formation des clusters par LEACH.....	21
Figure III.1 : Architecture OMNeT++.....	25
Figure III.2 : Fichier NED en mode graphique.....	26
Figure III.3 : Fichier NED en mode texte.....	26
Figure III.4 : Exemple d'un Fichier *.Ini.....	27
Figure III.5 : code source du fichier d'initialisation omnet.ini.....	31
Figure III.6 : Le nombre Total des paquets transmet à travers le réseau.....	33
Figure III.7 : Le nombre moyen de paquets transmets par chaque nœud.....	34
Figure III.8 : L'énergie moyenne consommée par chaque nœud.....	36

GLOSSAIRE

ADV	l'identité du nœud.
BAN	B ody A rea N etwork.
CH	C luster H ead.
CSMA	C arrier S ense M ultiple A ccess.
CSMA/CA	C arrier S ense M ultiple A ccess/ C ollision A voida
MAC	M edium A ccess C ontrol.
GPS	G lobal P ositioning S ystem.
PDR	P aquet D elivery R atio.
QoS	Q uality O f S ervice.
RCSF	R éseaux de C apteurs S ans F il.
RF	R adio F requency.
Sink	S tations de base.
TDMA	T ime D ivision M ultiple A ccess
WSN	W ireless S ensor N etwork.

Résumé

Les réseaux de capteurs sans fil sont l'un des sujets les plus intéressants; un nouveau sujet impose le défi de concevoir des objets indépendants appelés capteurs constitués d'une unité de capture exploitant la capture de données, une unité de traitement consistant en une procédure qui exécute des procédures permettant aux nœuds de coopérer avec d'autres nœuds pour effectuer la tâche réseau l'unité de communication, l'unité de stockage et l'unité d'alimentation, qui constituent la source d'alimentation des capteurs en général, sont une batterie non renouvelable, ce qui en fait une source d'énergie très limitée, ce qui rend la consommation d'énergie un facteur très restrictif, pour que les protocoles de routage jouent un rôle clé dans la gestion de réseau et le contrôle de la consommation d'énergie, mon travail se concentre sur l'analyse de la simulation de deux protocoles de routage, c'est-à-dire une comparaison entre les deux protocoles LEACH et MULTIPATH RING ROUTING, et implémenté sous OMNET++ sous plateforme de Castalia, dans laquelle les performances de nos protocoles sont comparées.

Mots clés : RCSF, capteurs, consommation d'énergie, LEACH, MULTIPATH RING ROUTING.

Abstract

Wireless sensor networks are one of the most interesting topics; a new subject imposes the challenge of designing independent objects called sensors consisting of a capturing unit exploiting the capture of data, a processing unit consisting of a procedure that executes procedures allowing the nodes to cooperate with other nodes to perform the network task the communication unit, the storage unit and the power unit, which constitute the power source of the sensors in general, are a non-renewable battery, which makes it a very energy source limited, making power consumption a very restrictive factor, so that routing protocols play a key role in network management and control of energy consumption, my work focuses on the analysis of the simulation of two routing protocols, that is to say a comparison between the two protocols : LEACH and MULTIPATH RING ROUTING, and implemented under OMNET ++ under Castalia platform, in which the performances of our protocols are compared.

Key words: WSN, sensors, energy consumption, LEACH, MULTIPATH RING ROUTING.

Introduction générale

Introduction générale

De nos jours, des nombreuses utilisations des moyens technologiques, y compris des moyens de communication, qui font désormais partie intégrante de notre vie quotidienne et sont utilisés dans tous les domaines, y compris la médecine, l'éducation et d'autres qui ont facilité et amélioré leurs travaux. La plupart de ces dispositifs consistent en un capteur qui capter, traiter et transférer des informations d'un nœud à un autre, de sorte que ces travaux consomment de l'énergie, et la plupart de ces dispositifs sont équipés d'une batterie non renouvelable.

Dans cette mémoire, j'ai effectué les testes sur deux types des protocoles de communications, afin de déterminer lequel des deux capteurs était le mieux en termes de réduction de la consommation d'énergie.

Le but de ce mémoire est choisi un protocole de communication pour améliorer l'énergie dans les réseaux de capteurs sans fil dans un contexte sans fil multi-saut. Je vais pour cela faire une étude deux cas, dans la quelle je vais tester deux protocoles au niveau de consommation d'énergie et la transmission des paquets. Cela me conduira à réfléchir qui consomme moins d'énergie que l'autre

Ce mémoire est organisé en trois chapitres répartis comme suit :

Le premier chapitre est consacré à la présentation réseaux capteurs sans fils en général, je vais présenter le capteur et leur architecture matérielle, définition d'un réseau de capteurs sans fil et leur architecture de communication, la communication, les types, caractéristiques, les facteurs de conception dans RCSF et enfin les facteurs intervenants dans la consommation d'énergie.

Dans le deuxième chapitre, je vais présenter les protocoles de routages dans les RCFS. Premièrement, je vais présenter la définition et les types de routage, les critères de performance et la classification des protocoles de routage en RCSF et a la fin les protocoles de routage choisi pour l'étude.

Au cours dernier chapitre, je vais faire une étude deux cas de réseau capteurs sans fil avec transmission des paquets et la consommation d'énergie. je vais utiliser à cette fin les outils Castalia, OMNET ++.

Chapitre I

Généralités sur les réseaux de capteurs sans fil.

I.1 Introduction

Le monde d'aujourd'hui assiste à des évolutions technologiques, la technologie est devenue la dominante mondiale et les équipements de technologie sont utilisés dans divers domaines: médical, militaire, etc. Le réseau capteur est le moyen de communication entre ces équipements, les équipements sont composés par un capteur, qui permet de capturer les données et l'envoi d'un nœud (appareil de communication) à un autre. Chaque capteur est constitué par plusieurs composants, le composant essentiel est l'alimentation, c'est un élément principal pour travailler ces capteurs. Le problème de ce capteur est la consommation d'énergie.

Dans ce chapitre, nous allons présenter les réseaux de capteurs sans fil, définition et l'architecture matérielle du capteur et généralités sur les réseaux de capteurs sans fil.

I.2 Les réseaux de capteurs sans fil (RCSFs)

I.2.1 Un capteur

Un capteur est un dispositif transformant l'état d'une grandeur physique observée (information d'entrée) en une autre grandeur physique de nature électrique qui est convertie en une valeur mesurée dans une représentation analogique ou numérique (utilisable)

Les capteurs sont des éléments de base des systèmes d'acquisition de données et que leur mise en œuvre est du domaine de l'instrumentation. [1]

I.2.2 Architecture matérielle d'un capteur

Un capteur est composé principalement d'une unité de : captage, traitement, stockage, communication et énergie

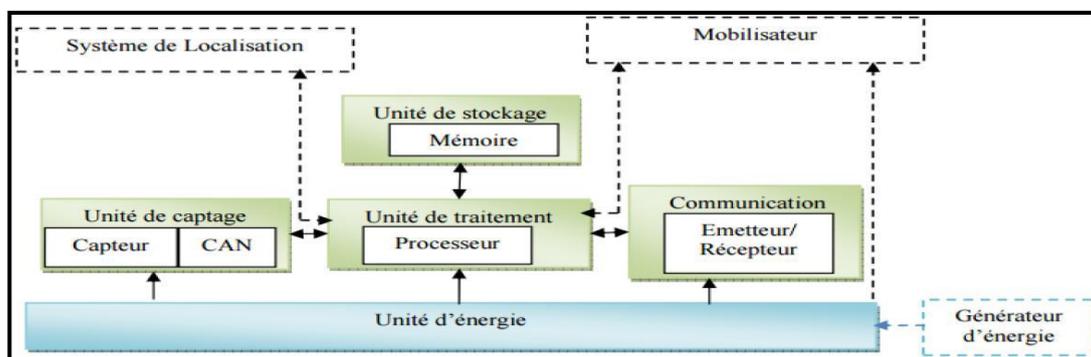


Figure I.1 : Architecture matérielle d'un capteur.

I.2.2.1 Unité d'énergie

Un capteur est muni d'une source d'énergie, généralement une batterie, elle est utilisée soit rechargeable ou non. Pour cela, l'énergie est la ressource la plus précieuse puisqu'elle influe directement sur la durée de vie des capteurs. [2]

I.2.2.2 L'unité d'acquisition (captage)

La fonction principale de l'unité de captage est de capturer ou mesurer les données physiques à partir de l'objet cible [3], elle est généralement composée de deux sous-unités, un capteur qui permet d'obtenir des mesures sur les paramètres environnementaux et un convertisseur Analogique/Numérique qui convertit l'information relevée et la transmet à l'unité de traitement. [4]

I.2.2.3 L'unité de traitement

Cette unité est également composée d'un processeur. Elle exécute les procédures permettant au nœud de collaborer avec les autres nœuds pour effectuer la tâche spécifique du réseau. [5]

Elle acquiert les informations en provenance de l'unité de captage et les envoie à l'unité de transmission.

I.2.2.4 L'unité de communication

Cette unité est responsable de toutes les émissions et réceptions de données via un support de communication sans fil. Les différents choix de média de transmission incluent la Radiofréquence(RF), le Laser et l'Infrarouge. [3]

I.2.2.5 Unité de stockage(Mémoire)

L'unité de stockage inclut la mémoire de programme et la mémoire de donnée. Généralement la taille de cette mémoire est limitée. [6]

I.2.2.6 Système de localisation

Le capteur doit avoir un système de localisation tel que GPS car certaines applications ont besoin de connaître l'emplacement du capteur.

I.2.2.7 L'unité de mobilité

L'unité de mobilité est appelée si le nœud capteur doit se déplacer pour accomplir la requête à traiter.

I.2.2.8 Générateur d'énergie

Il est utilisé pour la récupération d'énergie de l'environnement extérieur tel que l'énergie solaire puisque le capteur se laisse pendant des mois et même durant des années sans l'intervention humaine. [7]

I.2.2 Définition d'un réseau de capteurs sans fil (RCSF)

Un réseau de capteurs sans fil RCSF ou WSN (Wireless Sensor Network) est considéré comme un type spécial des réseaux Ad hoc de communication et l'administration centralisée sont absentes, il est constitué de milliers des nœuds capteur jouent le rôle des hôtes et des routeurs. Ces capteurs sont capables de collecter, traiter et acheminer les données environnementales de la région surveillée, vers des stations de collecte appelées nœuds puits ou stations de base (ou SINK). [8]

I.2.3 Architecture de communication dans les RCSF

La transmission des informations du capteur à la station de base peut prendre quatre formes.

– Première forme

Dans les architectures plates, les capteurs peuvent communiquer directement avec la station de base (SINK) en utilisant une puissance élevée (figure I.2 (a)).

– Deuxième forme

Mode multi-sauts avec des puissances extrêmement faibles (figure I.2 (b)).

– Troisième forme

Dans les architectures hiérarchisées, le nœud transmet directement les données à la station de base, ce nœud représentant le cluster, appelé cluster head (figure I.2 (c)).

– Quatrième forme

Dans un mode multi-saut entre les clusters heads (figure I.2 (d)). [9]

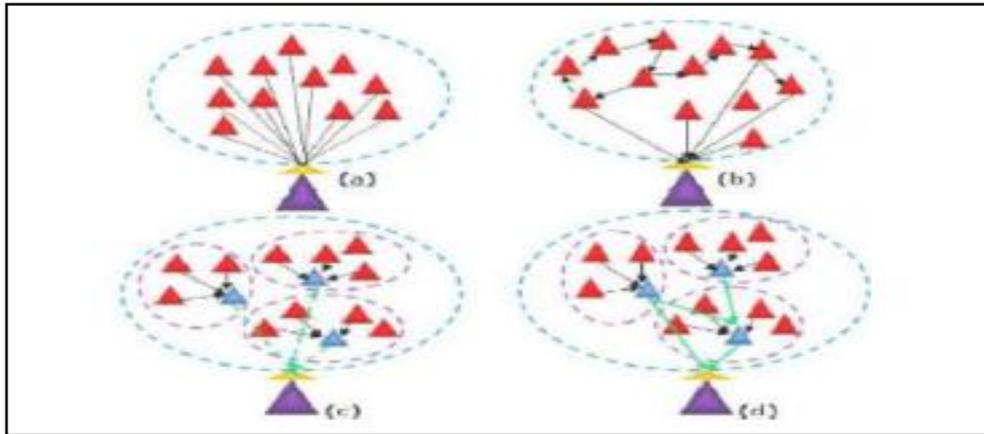


Figure I.2 : Architecture de communication dans les RCSF. [10]

I.2.4 Caractéristiques d'un réseau capteur sans fil

Les réseaux de capteurs sans fil ont des caractéristiques bien spécifiques que nous allons illustrer dans ce qui suit :

I.2.4.1 L'énergie

L'énergie est considérée comme la principale et fondamentale contrainte dans les réseaux de capteurs sans fil [11], chaque nœud a une capacité limitée de batterie et non rechargeable. Doit prendre en compte le problème de consommation d'énergie dans le réseau de capteurs sans fil, la consommation d'énergie au niveau des capteurs a une grande influence sur la durée de vie du réseau en entier.

I.2.4.2 La portée de transmission

En effet, pour que le capteur dispose d'une plage de communication suffisamment large, il est nécessaire d'utiliser un signal assez puissant. Cependant, l'énergie consommée serait importante. Les capteurs sont nécessaires de disposer d'une densité importante de nœuds. [12]

I.2.4.3 La puissance de stockage et de traitement

La puissance de stockage ainsi que la puissance de traitement des données pour un capteur reste relativement faible. Par exemple, les nœuds capteurs de type « Tmote Sky » sont composés d'un microcontrôleur cadencé à 8MHz, 48Ko de mémoire et d'une radio de débit environ 250 kbps avec une fréquence pouvant aller à 2,4 GHz, la portée de transmission de ce

type de capteur peut atteindre 50mètres en lieu clos et de 150200mètres à l'extérieur. Cela reste vrai même pour les nœuds de moyenne gamme, comme les « UCLA/ROCKWELL'S WINS », qui ont un processeur Strong ARM 1100 avec une mémoire flash de 1Mo, une mémoire RAM de 128Ko et une radio dont le débit est 100Kbps. [13]

I.2.4.4 Déploiement

Les formes de déploiement varient en fonction des besoins des applications. Il existe deux types le déploiement aléatoire et déterministe.

- **Le déploiement aléatoire**

Le déploiement aléatoire est adopté dans la majorité des scénarios à cause de raisons pratiques tels que le coût et le temps. Cependant, le déploiement aléatoire ne peut pas fournir une distribution uniforme sur la région d'intérêt.

- **Le déploiement déterministe**

Les nœuds peuvent être placée un par un d'une manière déterministe, la diffusion peut être effectuée en même temps ou peut être un processus continu en redéployant d'autres capteurs dans la même zone. [14]

I.2.4.5 Durée de vie

L'économie d'énergie est une des problématiques majeures dans les réseaux de capteurs. Il faut donc que les capteurs gardent leurs énergies autant que possible afin de pouvoir travailler longtemps. [15]

1.2.5 La communication dans RCSF (Le fonctionnement de la pile protocolaire)

Les réseaux de capteurs imposent de nouvelles restrictions de conception pour les protocoles de communication et ces protocoles doivent prendre en compte les limitations de conception de RCSF (nouvelle pile de protocoles).

La pile de protocoles se compose de cinq couches :

1. La couche d'application interagit avec les applications.
2. La couche de transport est responsable du transfert des données et du contrôle de flux.

Chapitre I: Généralités sur les réseaux de capteurs sans fil.

3. Couche réseau pour gérer le traitement et le routage des données.
4. La couche liaison de données est responsable du flux de données de multidiffusion et du contrôle des erreurs.
5. La couche physique fournit de puissantes techniques de transmission / réception et de modification de données.

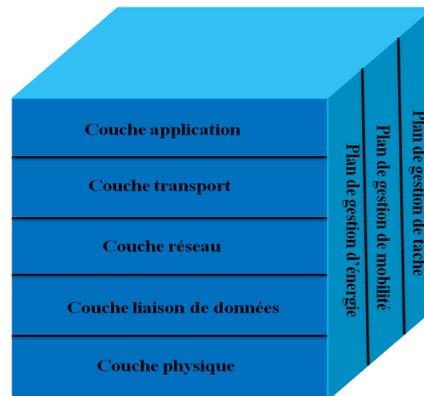


Figure I.3 : La pile protocolaire de communication. [16]

En plus des 3 niveaux (plan): plan de gestion de l'énergie, plan de gestion de la mobilité et plan de gestion des tâches

- **Plan de gestion de l'énergie**

L'énergie restante du détecteur est maintenue de la manière suivante:

- Le nœud doit s'endormir après la réception d'un message pour éviter de répéter les messages.

- Informez ses voisins qu'ils ne peuvent pas participer au routage des messages lorsque le niveau d'énergie du nœud est faible.

- **Plan de gestion de la mobilité**

Détecte et enregistre le mouvement des nœuds, de sorte qu'un nouveau chemin qui le connecte au puits ou à d'autres capteurs est toujours conservé.

- **Plan de gestion des tâches**

Afin de garantir un travail coopératif et efficace en termes de consommation d'énergie et de prolonger la durée de vie du réseau:

- Les nœuds ne doivent pas fonctionner sur le même rythme pendant le processus de capture dans une zone particulière. Assurer le niveau de gestion des tâches et l'équilibre entre les tâches et réparti sur les différents nœuds du réseau. [17]

I.2.6 Facteurs de Conception des réseaux de capteurs

Les paramètres, que je vais les mentionner, jouent un rôle majeur dans impact de la conception et la réalisation de réseaux de capteurs sans fil. Parmi ces paramètres lesquels nous citons l'adaptabilité, la topologie du réseau, les média de transmission et la consommation d'énergie.

I.2.6.1 Adaptabilité

L'adaptation est très importante dans les réseaux de capteurs pour contrôler les capteurs lors de changements environnementaux. [18]

I.2.6.2 Topologie du réseau

Le réseau peut être instable en raison de plusieurs facteurs, notamment l'ajout de nouveaux capteurs à une zone de captage ou la perte d'un plusieurs nœud de capteur. [19]

I.2.6.3 Média de transmission

Les liens des nœuds communicants peut être réalisé par radio, signal, infrarouge ou un média optique. [7]

I.2.6.4 Consommation d'énergie

Les nœuds de capteur ne peuvent être alimentés que par des sources limitées, car il s'agit de petits composants électroniques, en fonction de la durée de vie du nœud de capteur et de la durée de vie de la batterie associée. Chaque nœud joue le rôle de démarreur de données et le rôle du routeur également par l'adoption de réseaux de capteurs sur une communication à multi-sauts, ce qui entraîne une consommation d'énergie dans les réseaux de capteurs.

Afin de consommer un minimum d'énergie, la majorité des recherches porte désormais sur la conception d'algorithmes et de protocoles pour ce type de réseau. [20]

I.2.7 Consommation d'énergie dans les RCSF [21]

Pour concevoir le système énergétique du capteur, nous devons d'abord envisager une étape très importante dans l'amélioration du système énergétique, l'identification des problèmes et l'analyse des propriétés de la consommation d'énergie.

L'énergie est consommée par 3 opérations: la détection, le traitement et la communication.

I.2.7.1 Energie de capture

Le capteur peut être équipé de plusieurs capteurs, qui sont affectés négativement par le capteur pour la consommation d'énergie. La consommation d'énergie pour la détection ou la capture à partir des sources suivantes: l'échantillonnage, la conversion analogique-numérique, le traitement de signal et l'activation de la sonde de capture. [22]

I.2.7.2 Energie de traitement

La puissance de traitement est constituée de deux types d'énergie: l'énergie de commutation et la fuite d'énergie.

- **L'énergie de commutation:** est déterminée par la tension électrique et la capacité totale convertie au niveau du programme.
- **L'énergie de fuite:** est l'énergie consommée lorsque l'unité de compte ne guérit pas.

I.2.7.3 Energie de communication

L'énergie de communication représente la majeure partie de l'énergie consommée par un nœud du capteur, a L'énergie de communication est divisée en trois parties: L'énergie de réception, énergie d'émission et L'énergie en veille. Cette énergie est déterminée par la quantité de données connectées et la distance de transmission, ainsi que par les caractéristiques physiques de l'unité radio. [23]

I.2.8 Facteurs intervenants dans la consommation d'énergie

Il existe des facteurs stimulent une consommation d'énergie inutile, certains de ces facteurs sont les principales causes de pertes d'énergie spécifiques.

I.2.8.1 Etat du module radio

L'unité radio est celle qui consomme le plus d'énergie car elle assure la communication entre les nœuds. Il existe quatre cas de composants radio (émetteur et récepteur): actif, récepteur, émetteur et en veille. [24]

- **Etat actif:** la radio est allumée, mais pas utilisée. En d'autres termes, le nœud de capteur ne reçoit ni envoie. Cela entraîne une perte de puissance due à une écoute inutile du canal de transmission. Il convient également de noter que le fait de passer de l'état actif à l'état de veille à plusieurs reprises peut entraîner une consommation d'énergie supérieure à celle de laisser l'unité radio en mode actif. Par conséquent, il est recommandé d'éteindre complètement la radio au lieu de passer en mode veille.

I.2.8.2 Accès au support de transmission

La couche MAC joue un rôle très important dans la réduction de l'énergie consommée, Le protocole MAC d'économie d'énergie tente d'utiliser le moins possible la radio. L'utilisation inutile du module provient de six sources essentielles : la retransmission, l'écoute passive, l'écoute abusive, la surcharge, la surémission et la taille des paquets.

I.2.8.3 Modèle de propagation radio

Le modèle de propagation représente une estimation de la puissance de réception moyenne du signal radio à une certaine distance de l'émetteur. La propagation du signal radio est généralement soumise à différents phénomènes: réflexion, diffraction et dispersion par différents objets. [25]

I.2.8.4 Routage des données

Une mauvaise politique de routage peut avoir des conséquences graves sur la durée de vie du réseau, les paquets étant acheminés de la source à la destination via les nœuds intermédiaires. Ainsi, le nœud de capteur de puissance consomme soit le transfert, soit le transfert d'autres données contractuelles. [26]

I.3 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons fait une étude sur les réseaux de capteurs sans fil. Nous avons réuni les concepts nécessaires à la compréhension des problèmes des réseaux capteurs. Parmi ces concepts, j'ai vu les facteurs de conception des réseaux de capteurs. J'ai remarqué que la contrainte énergétique est la colonne vertébrale de la conception de tout type de protocoles liés aux réseaux de capteurs sans fil. En fait, le côté énergie est une mesure de performance très importante.

Dans le chapitre qui suit nous allons présenter les types de routage, les critères et la classification de performance des protocoles de routage en RCSF, en décrivant aussi les protocoles de routage dans les réseaux sans fil.

Chapitre II

Protocoles de routages dans les RCFS

II.1 Introduction

Ces dernières années, de nombreux protocoles de routage pour les réseaux ad hoc ont été développés. Ils tentent d'optimiser les performances en réduisant consommation d'énergie, le délai de livraison des paquets et l'utilisation de la bande passante. Le protocole de routage permet aux nœuds de communiquer directement entre eux pour relayer les messages par des sauts multiples et de transmettre des données vers un point de collecte.

Dans ce chapitre nous allons présenter les types de routage, les critères et la classification de performance des protocoles de routage en RCFS, en décrivant aussi les protocoles de routage dans les réseaux sans fil multi-sauts.

II.2 Protocoles de routages dans les RCFS

II.2.1 Définition de routage

Le terme "routage" désigne l'ensemble des mécanismes mis en œuvre dans le réseau pour déterminer les chemins qui acheminent les paquets d'une station émettrice à une station réceptrice.

Le routage est le processus consistant à choisir des chemins dans un réseau pour transférer des données d'un expéditeur à un ou plusieurs destinataires. C'est également un mécanisme par lequel des chemins sont définis dans un réseau pour acheminer les données d'un expéditeur à un ou plusieurs destinataires.[4]

II.2.2 Les types de routage

Il existe six types de routage : plat, hiérarchique, Routage basé sur la localisation, proactif, réactif, hybride.

II.2.2.1 Routage à plat (ou routage centré sur les données)

- Tous les nœuds ont les mêmes tâches à accomplir.
- Cela dépend de la coopération de tous les nœuds du réseau.
- En raison de la difficulté d'attribuer un identificateur global à chaque nœud à cause de leur grand nombre, les propriétés de données sont déterminées par un schéma de nommage par attribut.

- **Avantage**

Simplicité d'où la possibilité d'établir des connexions sans coût supplémentaire, chaque nœud n'ayant besoin d'informations que de ses voisins immédiats.

- **Inconvénient**

C'est l'épuisement des ressources énergétiques des nœuds situés à proximité de la station de base car tout le trafic en direction de cette dernière la traverse.

II.2.2.2 Routage hiérarchique

Cette approche repose sur la formation de clusters (zones communes).

- **Principe**

- Acheminer les données collectées par chaque nœud du cluster vers le chef de cluster.
-Après les traitements sur les parties communes, ils seront dirigés vers la prochaine destination.

- **Avantage**

La réduction de nombre de messages circulant sur le réseau en réduisant les coûts de communication et d'énergie, les CHs appliquant des fonctions agrégées aux données en cluster, ce qui permet la consolidation.

- **Inconvénient**

-Augmentation de la taille du réseau \Rightarrow processus d'élection du Cluster Head devient critique et nécessite beaucoup de ressources.

II.2.2.3 Routage basé sur la localisation

Pour créer les chemins les plus courts entre les nœuds source et de destination, les informations de localisation vous permettent de calculer les positions des capteurs et les distances les séparant.

- **Avantage**
 - Pour trouver des chemins, cette méthode de routage est plus économe en énergie, en raison de sa dépendance à la diffusion des nœuds de capteurs par des méthodes aléatoires ou probabilistes.
 - La localisation des nœuds permet de :
 - Éviter la diffusion en mode de broadcast en distribuant des requêtes uniquement à ces zones.
 - Réduire le nombre de transit de manière significative.

- **Inconvénient**

La nécessité de fournir un système de suivi par satellite, tel qu'un GPS, pour retenir le capteur, ce qui entraîne une consommation d'énergie importante.

II.2.2.4 Routage proactif

- Le calcul de routes qui est facilité l'acheminement des données.
- la table de routage est constituée des informations de chemin à suivre par toutes les données source vers une destination sur le réseau.
- Les tables de routage doivent être régulièrement mises à jour pour corriger certains chemins brisés en raison de modifications de la topologie dues aux des défauts à la mobilité de certains nœuds capteurs, cette mise à jour est garantie par le déploiement périodique de paquets de contrôle sur le réseau.
- Les routes sont créées indépendamment des besoins réels de l'application et beaucoup de ces routes sont enregistrées pour ne jamais être utilisées.

II.2.2.5 Routage réactif (routage à la demande)

- Lors de la diffusion d'une requête sur le réseau, Le routage réactif permet de créer des routes en fonction des besoins de l'application.
- La procédure de découverte de route est lancée par les nœuds impliqués dans cette requête.
- Les réponses sont acheminées vers les itinéraires créés.

- **Avantage:**

Économie d'énergie par opposition à une orientation proactive en construisant des routes sur demande.

- **Inconvénient:**

Dans les applications interactives et en temps réel, la recherche de chemins peut retarder le routage inapproprié des données. [23]

II.2.2.6 Routage hybride (à la fois proactif et réactif)

C'est une combinaison des deux concepts de routage proactif et réactif, dépend de l'établissement de routes à proximité en stockant des tables de routage sur des nœuds de capteurs.

- **Avantage**

- Cette approche combine les avantages des deux approches proactives et réactive.
- Réduire considérablement la taille des tables de routage. [27]

II.2.3 Les critères de performance des protocoles de routage en RCSF

La performance des réseaux de capteurs sans fil dépend des facteurs suivants :

II.2.3.1 Evolutivité

Tous les nœuds du domaine de réseau doivent être évolutifs ou capables de s'adapter aux modifications de l'architecture du réseau en fonction de l'utilisateur.

II.2.3.2 Alimentation

Le nœud du réseau doit savoir combien d'énergie il utilisera pour effectuer une nouvelle tâche. L'énergie consommée peut varier en fonction du type de fonctionnalité ou d'activité que vous devez accomplir.

II.2.3.3 Temps de traitement

Indique le temps nécessaire au nœud du réseau pour s'assurer que tout le processus est en cours d'exécution.

II.2.3.4 Schéma de transport

Les données sont transmises par les nœuds de capteur à la destination ou à la station de base par un système de guidage à un seul saut ou à multi-saut.

II.2.3.5 Capacité du réseau

Tous les nœuds du réseau de capteurs utilisent certaines ressources réseau pour les aider à effectuer certaines activités telles que la découverte ou la conversion.

II.2.3.6 Synchronisation

Dans les communications sans fil entre les nœuds de capteurs dans WSN, le nœud doit avoir la même notion du temps pour se mettre en veille et de réveil que ses voisins car, s'ils ne sont pas synchronisés les uns avec les autres, les capteurs écoutent en permanence les transmissions et consomment de l'énergie.

II.2.3.7 Contrôle de paquet

Le paquet envoyé avant la transmission entre les deux nœuds est appelé la boîte de contrôle. Le paquet de contrôle contient le nombre de bits de données envoyés, l'adresse du nœud de destination et des informations permettant d'éviter les collisions lors de la transmission. [28]

II.2.4 Classification des protocoles de routage dans les RCSF

De nombreuses stratégies de routage ont été créées pour les réseaux de capteurs :

- Certains sont des ajustements de politique existants pour d'autres types de réseaux.
- Et d'autres spécifiquement pour les réseaux de capteurs sans fil.

Les protocoles de routage dans les réseaux peuvent être classés selon deux concepts la structure de réseau et le type de protocole.

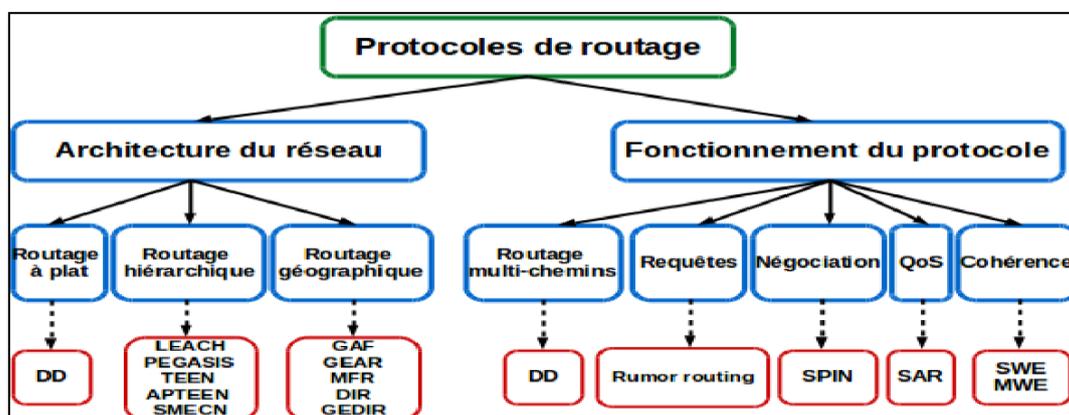


Figure II.1 : Classification des protocoles de routage dans les RCSF. [29]

II.2.4.1 Protocole de routage multi-chemin

Pour avoir des chemins de secours si jamais le chemin principal serait rompu, ce protocole base sur de plus qu'un chemin menant vers la destination.

II.2.4.2 Protocole de routage basé sur la négociation des données

Lors de la détection du même phénomène, les protocoles de routage basés sur la négociation inondent les nœuds de capteurs du réseau avec les mêmes paquets de données.

Le problème de la redondance peut être résolu par:

- Avant la transmission, les nœuds de capteurs négocient leurs données entre eux en échangeant des paquets de signalisation spéciales, appelés META-DATA.
- Ces paquets permettent de vérifier si les nœuds adjacents ont les mêmes données à transmettre.

Cette procédure garantit que seules les informations utiles seront transmises et élimine la redondance des données.

II.2.4.3 Protocole de routage basé sur les interrogations

La collecte d'informations sur l'état de l'environnement commence par des interrogations sur le nœud «Sink».

II.2.4.4 Protocole de routage basé sur la QoS

Ce type de protocole a tendance à respecter certaines normes lors du transfert de données vers la destination finale. Ces mesures incluent: le délai de bout en bout, la gigue, PDR (Paquet Delivery Ratio), énergie consommée.

II.2.4.5 Les protocoles de routage plat

Ces protocoles considèrent que tous les nœuds sont identiques, c'est à dire ont les mêmes fonctions à exécuter sauf le nœud de contrôle, La décision d'un nœud de router des paquets vers un autre dépendra de sa position et pourra être remise en cause au cours du temps.

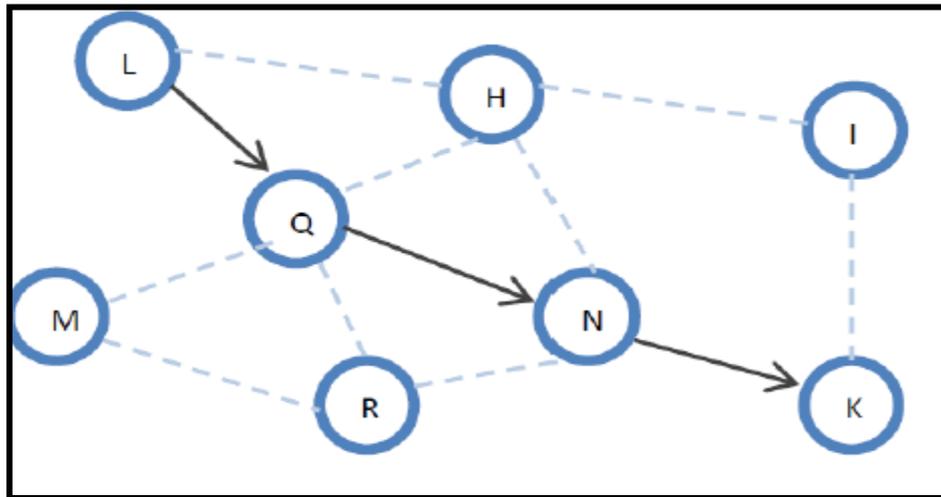


Figure II. 2 : Routage plat. [7]

II.2.4.6 Les protocoles de routage avec localisation

Les conditions de base pour un acheminement géographique dans un réseau dédié sont les suivantes:

- Tous les nœuds ont des méthodes de localisation, système natif tel que GPS (système de positionnement global) ou logiciel tel que protocole de localisation.
- Le nœud source connaît toujours la position du nœud de destination.

Pour ce faire, vous devez connaître les positions initiales de tous les nœuds de chaque nœud ou vous devez utiliser le service de localisation.

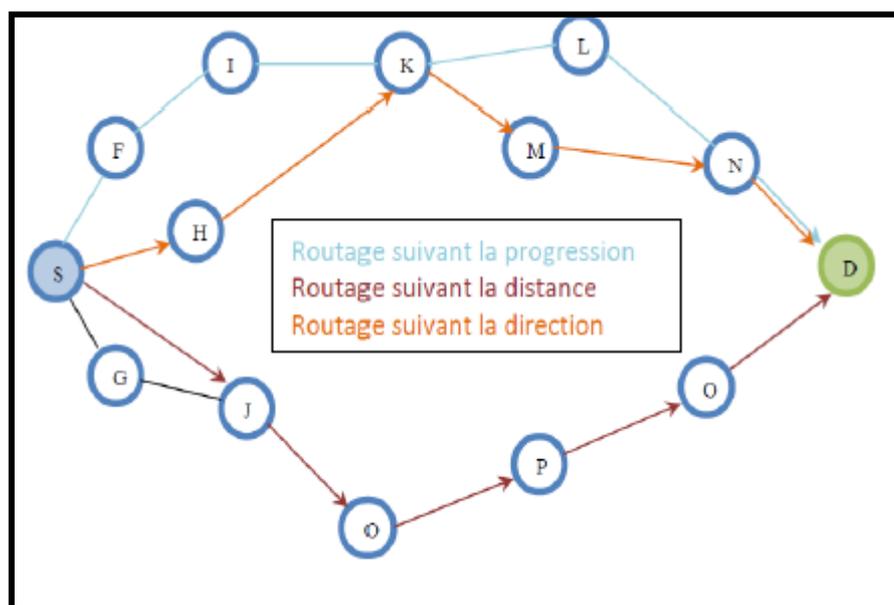


Figure II. 3: Routage basé sur la localisation.

II.2.4.7 Protocoles de routage hiérarchique

Ces protocoles fonctionnent en attribuant différents rôles aux nœuds du réseau. Certains nœuds sont sélectionnés pour exécuter certaines fonctions. Un nœud peut être, par exemple, une passerelle vers un ensemble de nœuds. Dans ce cas, la route devient plus simple car elle passe par les passerelles pour atteindre le nœud de destination qui leur est directement lié.

Un exemple est illustré à la **Fig. II.4**: Pour que les paquets des nœuds F atteignent le nœud L, ils doivent passer par les passerelles P, S et R.

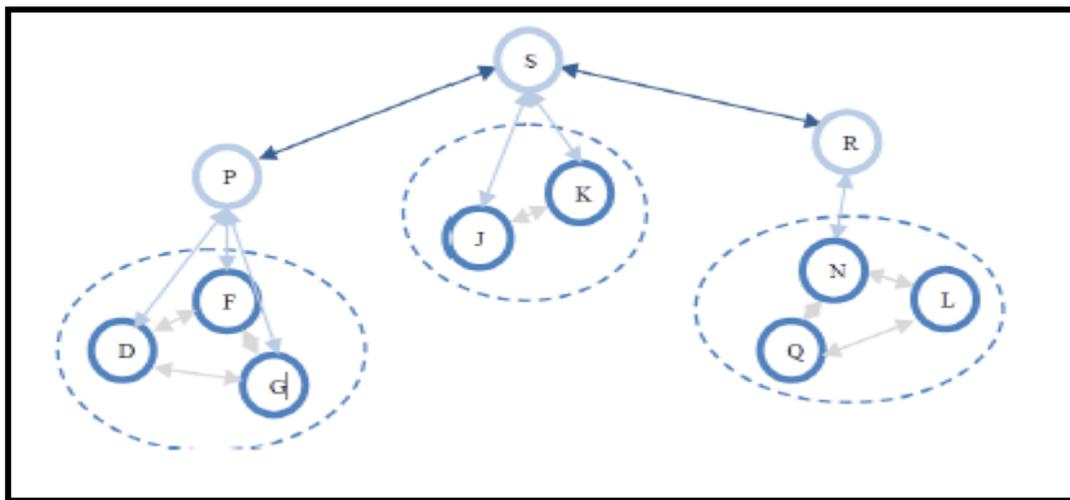


Figure II.4 : Routage hiérarchique.

- **Le principe**

Le principe des protocoles de routage hiérarchiques est principalement basé sur les nœuds de passerelle.

- **Les avantages**

Ce type de routage présente de nombreux avantages pour les réseaux avec des nœuds stables et une puissance suffisante. [23]

II.2.5 Les protocoles de routage choisis pour l'étude

Dans ce chapitre, je choisirai deux protocoles de routage pour l'étude et les comparerai en termes de consommation d'énergie, à savoir le protocole RING et le protocole LEACH. Le but de la sélection est de réduire la consommation d'énergie.

II.2.5.1 Le protocole LEACH

Le protocole LEACH, est un protocole de routage hiérarchique, il a été proposé par Heinzelman. Il est basé sur l'algorithme de clustering distribué, qui permet de diviser le réseau en un ensemble de cluster où dans chaque cluster on y trouve un Cluster (CHs), dans chaque cluster le protocole se déroule en plusieurs rounds, et chaque round est composé de deux phases :

- **La phase Set up :**

Dans cette phase, la formation des clusters est établit et des nœuds CHs sont élus. Initialement, chaque nœud choisira un nombre aléatoire (nb) compris entre 0 et 1 ($0 < nb < 1$), ce nombre sera ensuite comparé au seuil $T(n)$ qui est représenté par la formule suivante:

$$T(n) = \begin{cases} \frac{p}{1-p(r \bmod \frac{1}{p})} & \text{si } (n \in G), \\ 0 & \text{sinon,} \end{cases}$$

Où :

- p : représente le pourcentage des CHs sur le réseau (généralement 5%).
- G : ensemble des nœuds qui n'étaient pas élus CH dans les $(1/p)$ rounds précédents.
- r : le numéro du round en cours.

Si ($nb < T(n)$), alors le nœud sera élu CH, sinon il va rejoindre le CH le plus proche de son voisinage.

Lors de l'élection du chef du bloc:

1. CH informe les autres nœuds utilisant le protocole CSMA de couche MAC en envoyant un message ADV (ADV représente l'identité du nœud).
2. Les autres nœuds choisissent le groupe auquel ils appartiennent.
3. En utilisant le protocole CSMA, chaque nœud envoie un message « Join-Req » au Cluster Head de son cluster.
4. À la fin de cette première étape, tous les groupes sont formés pour permettre la transition vers la deuxième étape.

- **La phase Steady-State :**

Dans cette phase :

Chapitre II : Protocoles de routages dans les RCFS.

- 1- les données détectées par les nœuds des clusters seront transférées aux CHs au cours d'une période donnée.
- 2- Cette transmission est synchronisée par TDMA.
- 3- les CHs mettent en œuvre l'opération d'agrégation.
- 4- le résultat sera envoyé à la station de base.

LEACH permet de réduire la dissipation d'énergie dans le réseau et il utilise le TDMA afin d'empêcher les collisions entre les CHs du réseau. [30]

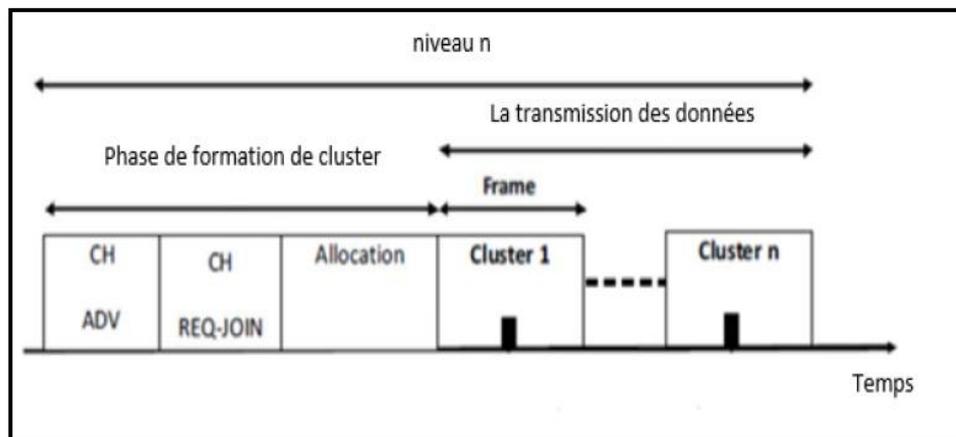


Figure II.5 : Formation des clusters par LEACH. [31]

II.2.5.2 Protocole RING Routing

Dans le protocole Multipath rings routing, tous les nœuds sont distribués de manière aléatoire au capteur de champ de capteur et la station de base est chargée de collecter les données de tous les nœuds de capteur et de rendre compte à la station de collecte de données. Le protocole de routage en boucle multipiste peut être divisé en deux étapes de base la phase Set up et phase de diffusion des données.

1. La phase Set up

L'organisation de réseau en fonction de la distance de saut pour chaque nœud du nœud Sink est l'idée de base de la phase de la configuration de la topologie et à la fin de cette phase, chaque nœud saura le nombre de sauts.

Ce paquet contient cinq champs de base :

- Le premier champ est l'ID du nœud qui diffuse le paquet.
- Le deuxième champ contient l'ID du nœud de destination, qui est l'adresse de diffusion pour la phase d'établissement de la topologie.

Chapitre II : Protocoles de routages dans les RCFS.

- Le troisième champ est ID de Sink actuel, ce champ est utile lorsque le réseau traite plusieurs nœuds de récepteur.
- Le quatrième champ est une balise qui définit le type de paquet et pour le protocole de routage d'anneaux à trajets multiples, cette balise contient soit un paquet de configuration de topologie, soit le contrôle des paquets de routage de paquets à boucles multiples, soit la valeur des paquets de routage à boucles multiples.
- Le cinquième champ indique le numéro de sonnerie actuel. Au cours de la phase de configuration de la topologie, la station de base diffusera le paquet de configuration de la topologie avec une valeur de sonnerie actuelle égale à zéro.

ID d'auto nœud	ID du nœud de destination	ID de Sink actuel	Type de paquet	numéro de sonnerie actuel
----------------------	---------------------------------	-------------------------	-------------------	------------------------------

Tableau II.1 : Format de paquet.

Le processus décrit continuera jusqu'à ce que tous les nœuds reçoivent leurs numéros d'appel. Une fois cette étape terminée, tout le réseau est divisée en un ensemble d'anneaux. Chaque boucle représente la distance de saut depuis la station de base.

Le réseau est divisé en trois anneaux comme R1, R2 et R3 respectivement.

2. Phase de diffusion des données

Les données sont transférées du nœud source au nœud connecté. Lorsqu'un nœud veut envoyer des données au nœud connecté, il les diffuse avec le numéro de sonnerie actuel. Si un nœud a une valeur supérieure au débit de paquets, il peut le retransmettre. Ce processus continuera à atteindre la station de base et chaque voisinage du nœud source pourra entendre ce paquet et vérifier le niveau de sonnerie de ce paquet.

Si le nœud de réception est un nœud récepteur, il recevra et traitera ce paquet, mais si le nœud récepteur n'est pas un nœud récepteur, le nœud récepteur définira le numéro de paquet égal à son numéro circulaire et rediffusera le paquet. [32]

II.3 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présenté les différents protocoles de routage, les critères de performance des protocoles de routage en RCSF ce qui dépend plusieurs facteurs tel que l'alimentation jouer le rôle principale dans les capteurs, classification des protocoles de routage dans les RCSF, et mon choix d'étude.

Dans le chapitre qui suit nous allons présenter une étude comparative entre deux protocoles de routage, le protocole LEACH et Protocole RING Routing.

Chapitre III

Implémentation – Etude de cas

III.1 Introduction

Afin d'évaluer les performances des deux protocoles sélectionnés pour l'étude comparative, dans ce chapitre, nous allons présenter principalement les outils utilisés pour réaliser ma simulation, puis les différentes étapes permettant de mettre en œuvre les protocoles à l'aide de simulateur OMNET ++ et du Castalia, et enfin, des présentations détaillées des résultats obtenues et la discussion de ces résultats.

III.2 Outils et logiciels utilisés :

III.2.1 OMNET ++

III.2.1.1 Définition.

OMNET ++ est un environnement de simulation d'événements discrets orienté objet, basé sur C ++, utilisé pour simuler des réseaux, des systèmes multiprocesseurs et d'autres systèmes discrets. Grâce à son architecture modulaire, OMNET ++ est largement utilisé dans divers domaines d'application, tels que: modélisation des protocoles de communication, modélisation de réseaux filaires et sans fils. En général, il peut être utilisé pour tout système d'événement discret pouvant être conçu en fonction des entités de communication en envoyant des messages.

OMNET++ fournit des outils pour la création et la configuration des modèles de réseaux (les fichiers NED et INI) et des outils pour l'exécution des programmes ainsi que pour l'analyse des résultats de simulation. [33]

III.2.1.2 Le choix de la plateforme simulation

J'ai utilisé la plate-forme OMNET, car elle est gratuite pour un usage académique, la facilité d'apprentissage est connue, pour valider les nouveaux matériels et logiciels, simuler les réseaux principaux et les systèmes de réseaux de communication, ainsi que les systèmes multiprocesseurs, la principale raison d'analyser et d'évaluer les protocoles de communication.

III.2.1.3 Architecture de l'OMNET++

Je vais expliquer l'architecture de OMNET ++ comme suit :

- L'architecture OMNET dépend des composants sont l'unité de base et l'unité composée, l'unité de base est une unité simple et l'unité composée est un ensemble d'unités simples. Ces unités communiquent entre elles par des messages.
- Les feuilles de cette architecture sont des unités simples représentant les classes C. Chaque module simple correspond à un fichier .cc et à un fichier .h.
- Les paramètres, sous-unités et ports de chaque module sont spécifiés dans le fichier .ned.
- La structure est conçue de manière à ce que des modules simples fassent des expéditeurs et des destinataires de messages.
- Les composants de module déplacent simplement les messages dans des modules simples de manière transparente.
- Différents paramètres peuvent être définis pour les connexions connectant des unités: délai de propagation, débits de données, taux d'erreur, etc.
- La communication entre différents modules se fait par échange de messages. Les messages peuvent représenter des paquets ou des trames pour le réseau informatique, les clients en file d'attente ou d'autres types d'entités en attente du service.
- Les messages sont envoyés et reçus via des ports représentant les interfaces d'entrée et de sortie par unité.
- La grille est conçue dans un fichier .ned et les différents paramètres de chaque module sont spécifiés dans le fichier .ini. À la fin de chaque simulation, OMNET ++ crée deux nouveaux fichiers, omnet.vec et omnet.sca, qui vous permettent de dessiner des courbes et de calculer des statistiques.

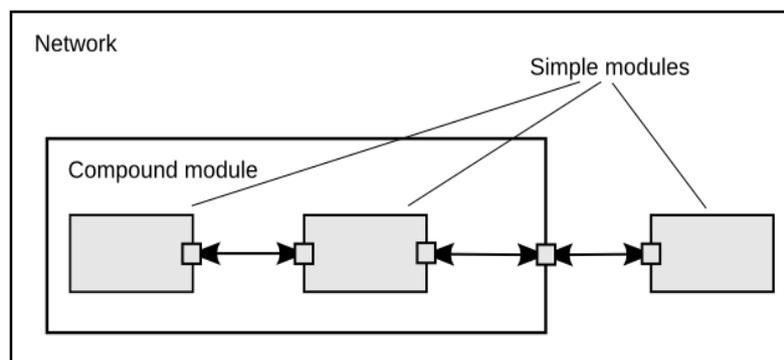


Figure III.1: Architecture OMNET++. [34]

III.2.1.4 Les principaux fichiers d'OMNET++ : [35]

OMNET++ est composé par différents principaux fichiers sont :

1. Fichier (.Ned)

On utilise le langage NED pour décrire la topologie et de la structure de simulation. Cette description se traduit par la déclaration de simple module (décrire ces interfaces et ces paramètres), il peut être utilisé en 2 modes : Mode Graphique (**figure III.2**) ou Mode Texte (**figure III.3**). Et une définition de réseau (définit l'ensemble d'un modèle comme une instance du type module).

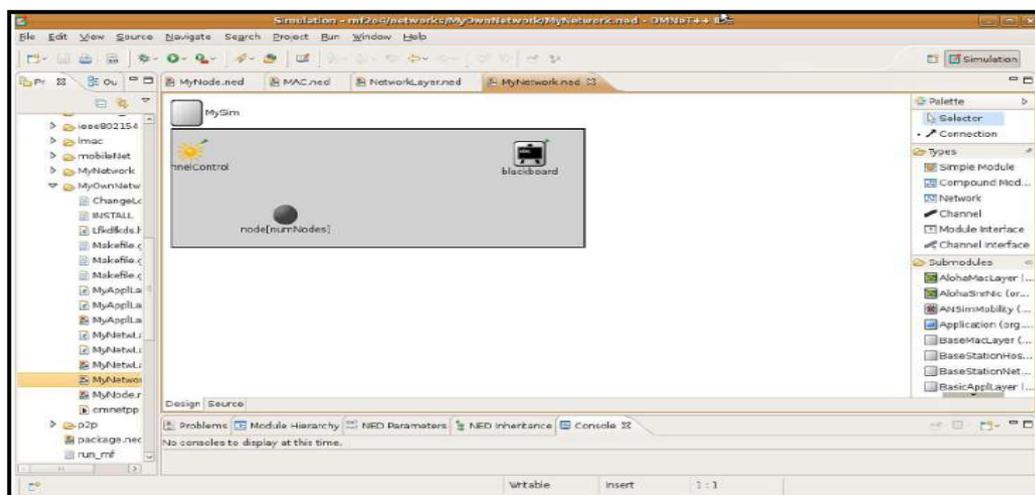


Figure III.2 : Fichier NED en mode graphique. [35]

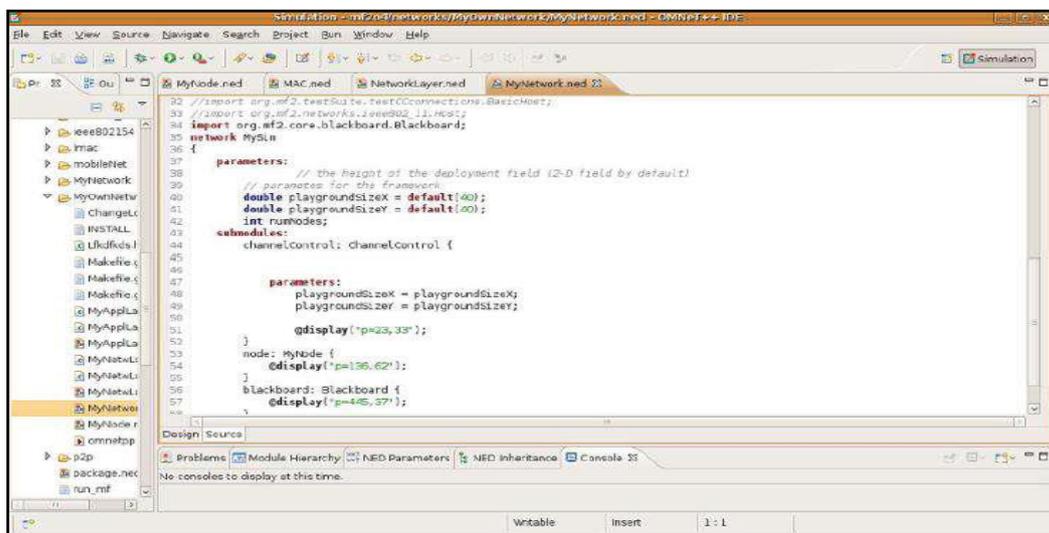


Figure III.3 : Fichier NED en mode texte. [35]

2. Fichier (.ini)

Il est étroitement lié au fichier NED. Permet à l'utilisateur de configurer divers paramètres de module ainsi que des topologies de réseau. Voici un exemple présenté ci-dessous :

```
include ../Parameters/Castalia.ini
include ../Parameters/MAC/CSMA.ini
sim-time-limit = 20s
SN.field_x = 70 #40
SN.field_y = 70 #10
SN.numNodes = 20
SN.deployment = "[1..99]->uniform"
SN.wirelessChannel.collectTraceInfo = false
SN.node[*].Communication.Radio.collectTraceInfo = false
SN.node[*].Communication.MAC.collectTraceInfo = false
SN.node[*].Communication.Routing.collectTraceInfo = false
SN.node[*].Application.collectTraceInfo = false
SN.node[*].SensorManager.collectTraceInfo = false
SN.node[*].ResourceManager.collectTraceInfo = false
SN.node[*].Communication.RoutingProtocolName = "LeachRouting"
SN.node[*].Communication.Routing.netBufferSize = 1000
SN.node[0].Communication.Routing.isSink = true
SN.node[*].Communication.Routing.slotLength = 0.2
SN.node[*].Communication.Routing.roundLength = 20s
SN.node[*].Communication.Routing.percentage = 0.05
SN.node[*].Communication.Routing.powersConfig = xmldoc("powersConfig.xml")
SN.node[*].ApplicationName = "ThroughputTest"
SN.node[*].Application.packet_rate = 1
SN.node[*].Application.constantDataPayload = 2000
SN.wirelessChannel.onlyStaticNodes = true
SN.wirelessChannel.sigma = 0
SN.wirelessChannel.bidirectionalSigma = 0
SN.wirelessChannel.pathLossExponent = 2.0 # Free Space
SN.node[*].Communication.Radio.RadioParametersFile =
"../Parameters/Radio/CC2420.txt"
```

Figure III.4: Exemple d'un Fichier *.Ini. [35]

3. Fichier (.msg)

Les modules communiquent entre elles en échangeant des messages. Cela peut être déclaré dans un fichier avec une extension (.msg) ou vous pouvez ajouter des champs de données. OMNeT ++ traduira les définitions de message en classes C ++.

III.2.1.5 Les extensions de la plateforme OMNET++

Simulateur OMNET ++ n'est pas destiné aux réseaux de capteurs sans fil, car de nombreux extensions de l'environnement de simulation OMNET ++ tentent de résoudre ce problème. Nous avons choisi Castalia pour résoudre ce cas et effectuer la simulation.

III.2.2 Castalia

Castalia est un simulateur pour les réseaux de capteurs sans fil (RCSF), les réseaux informatiques et les réseaux BAN (Body Area Network) en général pour les systèmes embarqués à faible consommation. Il repose sur la plate-forme OMNET et est utilisé par les chercheurs et les développeurs qui souhaitent tester des algorithmes et / ou des protocoles distribués dans un modèle radio réel et un modèle radio réel, avec un comportement réel du nœud de capteur. La structure de Castalia est également reflétée dans la hiérarchie avec le code source. Chaque module contient un dossier "ned" qui identifie le module lui-même. Si le module est configuré, les sous-répertoires existants spécifient les sous-unités avec les enregistrements C (cc, h) qui déterminent leur comportement. Cette hiérarchie complète des dossiers "ned" définit la structure générale de la simulation de Castalia. Les principales unités à Castalia sont:

III.2.2.1 Le module MAC

Couche MAC joue un rôle très important pour l'amélioration de l'efficacité énergétique dans la performance de diverses conditions dans les nœuds: le nœud en cas de transmission, d'inactivité ou de veille. Le module "Radio" modifie ces cas en fonction de certaines situations. Les utilisateurs peuvent modifier les paramètres avec des exemples de niveau Castalia pour la couche MAC en utilisant le fichier de configuration OMNET ++ (.ini). En ajustant simplement certains paramètres du fichier MAC "CSMA / CA", "TMAC" et "AMCC" pour différentes simulations, seront gérés.

III.2.2.2 Le Module Radio

Il est conçu sur la base de réseaux de capteurs sans fil dans trois situations: veille, transmission et écoute. De plus, la consommation d'énergie sera différente dans chaque état. C'est la principale caractéristique de ce module.

III.2.2.3 Canal sans fil

Le module du canal sans fil est conçu pour modéliser l'environnement sans fil, qui est une évolution dynamique de l'environnement pour le nœud statique et mobile. Il ya quatre principaux modèles de canal sans fil qui sont conçus : la modélisation moyenne de perte de

trajet, des variations temporelles, les interférences et la modélisation simple. Castalia utilise certaines formules pour estimer chacun des quatre modèles selon de nombreuses expériences réalistes.

III.2.2.4 Le module Routage

Le module de routage est la fonction la plus importante du module de réseau qui consiste à recevoir le module de messagerie MAC et à envoyer un message à la demande. En fonction des informations d'en-tête, il existe deux types d'algorithmes de routage dans Castalia: simpleTree Routing et multipath Rings Routing.

III.2.2.5 Le module Application

Le module Application est le module principal utilisé pour contrôler d'autres modules, ce module utilise également le mécanisme de message pour effectuer des actions différentes.

III.2.2.6 Les Commandes Castalia

Il existe plusieurs commandes de Castalia, je vais montrer ces commandes et leurs rôles dans le tableau ci-dessous :

Les commandes	Les rôles
../bin/Castalia	Affiche la liste des fichiers et des configurations.
../bin/Castalia-c	General Commencer l'exécution de la configuration.
CastaliaResults	Affiche les résultats obtenus lors de l'exécution.
CastaliaPlot	Affiche le graphe des simulations.
../bin/Castalia-h	affiche l'aide.
-i FILE	entré=fichier la sélection de fichier d'entré par défaut est omnetpp.ini.
-d, --debug	le mode debug, sera affiche les résultats.
-o FILE	--sortie=Fichier sélectionne le fichier de sortie pour écrire les résultats.
-r N	--répète=N numéro des répétitions pour chaque scénario.

Tableau III.1 : les commandes Castalia avec leurs rôles. [33]

III.3 Environnement de Simulation

III.3.1 Environnement matériel

La simulation a été réalisée sur un ordinateur LENOVO dont la configuration est comme suit :

Processeur	Intel® Core™ i3-3110M CPU @ 2.3 GHz
Mémoire	4,00 GO
Disque dur	500 GO

Tableau III.2 : Caractéristiques générales du PC utilisé pour la simulation.

III.3. Environnement logiciel

Notre simulation a été réalisée dans l'environnement logiciel suivant :

- Système d'exploitation : WINDOWS 10.
- Le simulateur OMNet++ 4.6 ;
- Le Simulateur Castalia 3.2.

III.4 La partie implémentation et simulation

III.4.1 Le but de simulation

Notre but est d'adapter le code source des deux protocoles avec l'émulateur OMNET ++ et d'exploiter les fonctions Framework "Castalia" pour obtenir des résultats incidents. Les codes sources des deux protocoles (LEACH et RINGS ROUTING MULTIPATH) sont téléchargés gratuitement à partir d'Internet.

III.4.2 Implémentation des protocoles de routages :

III.4.2.1 Etape d'importation d'un protocole de routage dans le projet CASTALIA.

1. Copiez le dossier contenant les fichiers de code source (* .cc et * .h) dans le répertoire "Castalia / src / node / communication / routing /".
2. Copiez le dossier contenant le fichier de configuration pour les paramètres de simulation (* .ini) dans le répertoire "Castalia / Simulation /".
3. Ouvrez l'éditeur de ligne de commande associé à l'aide de omnet ++ (mingwenv.cmd) dans le répertoire Castalia en suite, tapez les commandes suivantes: ./makemake et make.

Le protocole en question est donc importé et peut être implémenté soit en mode ligne Commande soit dans l'interface graphique OMNET. [35]

III.4.2.2 Configuration du fichier d'initialisation des paramètres de simulation (omnet.ini) :

Un fichier d'initialisation est un processus de simulation qui doit être modélisé et qui permettra d'obtenir les résultats des deux protocoles simultanément, c'est-à-dire un fichier de programmation (.ini) contenant le code source permettant d'initialiser un ensemble commun de paramètres pour les deux protocoles ainsi que l'exécution simultanée de leur simulation.

La figure ci-dessous explique comment j'ai créé mon fichier de code source omnet.ini.

```
SN.field_y = 100 # meters

SN.numNodes = ${NbNode = 30, 45, 55}
SN.deployment = "6x6"
SN.node[0..99].ResourceManager.initialEnergy = 800
include ../Parameters/Castalia.ini
include ../Parameters/MAC/CSMA.ini
SN.wirelessChannel.collectTraceInfo = false
SN.node[*].Communication.Radio.collectTraceInfo = false
SN.node[*].Communication.MAC.collectTraceInfo = false
SN.Communication.RoutingProtocolName = "MultipathRingsRouting"
SN.node[*].Communication.Routing.collectTraceInfo = false
SN.node[*].Application.collectTraceInfo = false
SN.node[*].SensorManager.collectTraceInfo = true
SN.node[*].ResourceManager.collectTraceInfo = false
SN.node[*].Communication.MACProtocolName = "TMAC"
SN.wirelessChannel.collectTraceInfo = false
SN.node[*].MobilityManager.collectTraceInfo = false
SN.wirelessChannel.onlyStaticNodes = true
SN.wirelessChannel.sigma = 0
SN.wirelessChannel.bidirectionalSigma = 0
SN.wirelessChannel.pathLossExponent = 2.0 # Free Space
SN.node[*].Communication.Radio.RadioParametersFile = "../Parameters/Radio/CC2420.txt"
SN.node[*].Communication.Routing.netBufferSize = 1000
SN.node[0].Communication.Routing.isSink = true
SN.node[*].Communication.Routing.slotLength = 0.2
SN.node[*].Communication.Routing.roundLength = 20s
SN.node[*].Communication.Routing.percentage = 0.05

SN.node[*].Communication.Routing.powersConfig = xmlDoc("powersConfig.xml")
SN.node[*].ApplicationName = "ThroughputTest"
SN.node[*].Application.packet_rate = 1
SN.node[*].Application.constantDataPayload = 2000
SN.Node[3].Application.isSink = true
#####
# Configuration leach #
.....
```

Figure III.5 : code source du fichier d'initialisation omnet.ini.

III.5 Exécution de la simulation et présentation des résultats Obtenus

III.5.1 Paramètres de simulation

Nous avons résumé les paramètres de simulation dans un petit tableau ci-dessous :

Paramètre simulateur	Valeur
Nombre de nœuds déployés	Variable 30 / 45 / 55
Energie Initiale	800 Joules
Node Mobilité	Fixe
Durée de Simulation	600 secondes
Technologie Radio utilisée	CC2420
Protocole MAC utilisé	CSMA/TMAC
Couche Application	ThroughputTest
Protocoles de routage utilisés	LeachRouting/ MULTIPATH RING ROUTING

Tableau III.3 : Code source du fichier d'initialisation omnet.ini.

La durés de la simulation est fixé à 600 secondes, la portée de communication et la valeur initiale de l'énergie sont fixés pour tous les nœuds.

III.5.2 Présentation et discussions des résultats obtenus

III.5.2.1 Nombre de paquet transmet

```

/d/Omnet/Castalia/Simulations/PFE$ ../../bin/CastaliaResults -i multi.txt -s packets
Communication.MAC:Sent packets breakdown
+-----+-----+
|          | DATA | SYNC |
+-----+-----+
| NbNode=30 | 0.2   | 54.545 |
| NbNode=45 | 0.2   | 81.818 |
| NbNode=55 | 0.2   | 100    |
+-----+-----+
    
```

```

/d/Omnet/Castalia/Simulations/PFE$ ../../bin/CastaliaResults -i leach.txt -s packets
Communication.MAC:Sent packets breakdown
+-----+-----+
|          | DATA | SYNC |
+-----+-----+
| NbNode=30 | 36.836 | 54.545 |
| NbNode=45 | 53.927 | 81.036 |
| NbNode=55 | 70.564 | 99.109 |
+-----+-----+
/d/Omnet/Castalia/Simulations/PFE$
    
```

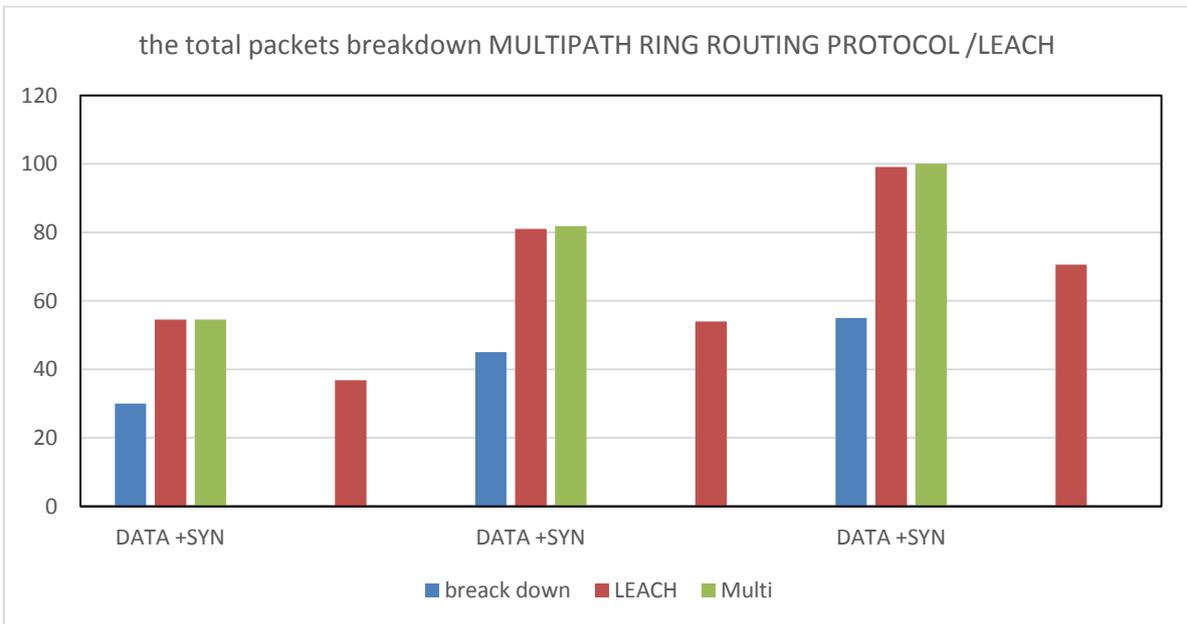


Figure III.6 : Le nombre Total des paquets transmet à travers le réseau.

```
/d/Omnet/Castalia/Simulations/PFE$ ../../bin/CastaliaResults -i leach.txt -s Txed  
Communication.Radio:TXed pkts - TX pkts  
+-----+-----+-----+  
| NbNode=30 | NbNode=45 | NbNode=55 |  
+-----+-----+-----+  
| 68.909    | 102.418  | 127.818  |  
+-----+-----+-----+
```

```
/d/Omnet/Castalia/Simulations/PFE$ ../../bin/CastaliaResults -i multi.txt -s Txed  
Communication.Radio:TXed pkts - TX pkts  
+-----+-----+-----+  
| NbNode=30 | NbNode=45 | NbNode=55 |  
+-----+-----+-----+  
| 54.745    | 82.018   | 100.2     |  
+-----+-----+-----+
```

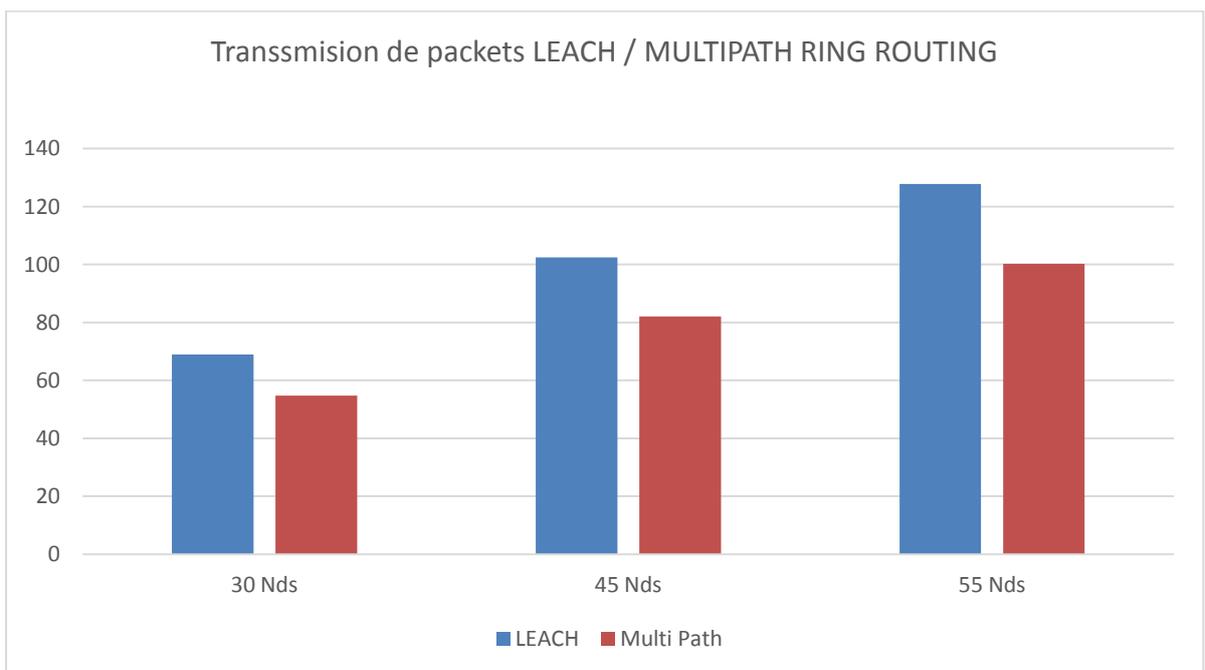


Figure III.7 : Le nombre moyen de paquets transmits par chaque nœud.

Nous avons observé que le nombre moyen de paquets envoyés par chaque nœud dans les deux réseaux (LEACH, MULTIPATH RING ROUTING) et le nombre moyen envoyé par chaque nœud avec le protocole LEACH est supérieur au nombre transféré par le nœud MULTIPATH RING ROUTING, ce qui peut être justifié par Nombre de paquets envoyés et reçus dans le réseau LEACH par chaque nœud lors du calcul et de la sélection des méthodes de transmission. L'augmentation du nombre de nœuds dans la simulation augmente le nombre de paquets envoyés dans le réseau, tandis que le nombre de paquets envoyés dans les réseaux LEACH est plus grand pour les réseaux MULTIPATH RING ROUTING.

III.5.2.2 La Consommation d'énergie

```
/d/Omnet/Castalia/Simulations/PFE$ ../../bin/CastaliaResults -i multi.txt -s Energy --sum
```

NbNode=30	NbNode=45	NbNode=55
169.438	271.794	330.164

```
/d/Omnet/Castalia/Simulations/PFE$ ../../bin/CastaliaResults -i leach.txt -s Energy --sum
```

NbNode=30	NbNode=45	NbNode=55
198.852	325.663	409.927

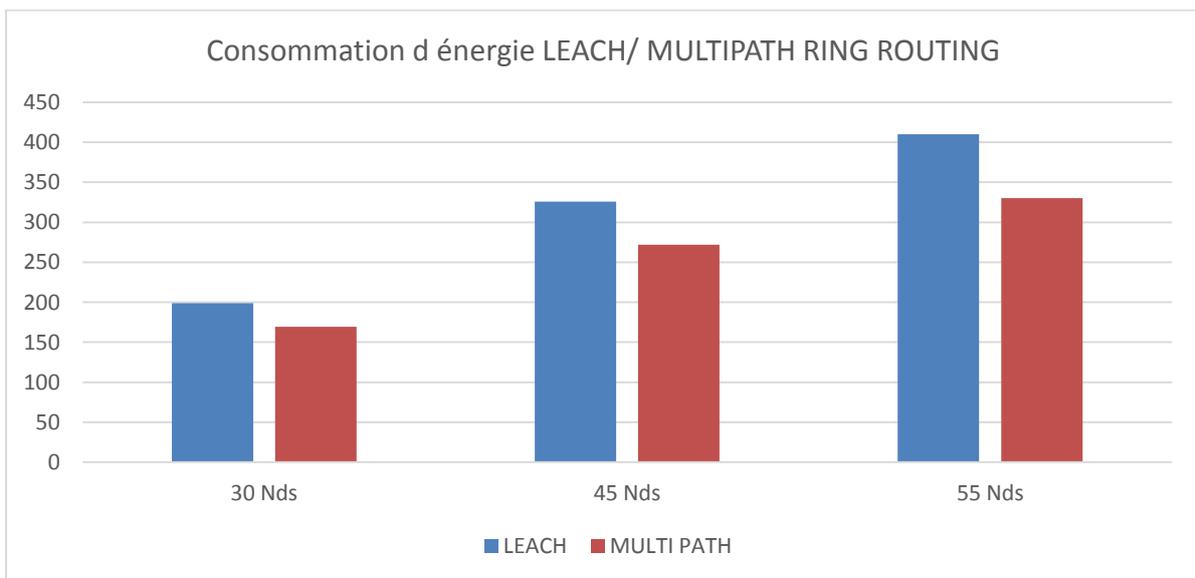


Figure III.8 : L'énergie moyenne consommée par chaque nœud.

Une comparaison de la consommation moyenne consommée par les nœuds dans les protocoles de routage montre que la consommation moyenne d'énergie du nœud dans le réseau de capteurs qui fonctionne avec le protocole LEACH est supérieure à celle consommée par le nœud. À partir du réseau MULTIPATH RING ROUTING. Cela se justifie comme avant: augmenter le nombre de nœuds signifie augmenter le nombre d'itinéraires de traitement, le calcul implique plus d'énergie consommée.

III.6 Conclusion

Pour réduire la consommation d'énergie dans les réseaux de capteurs sans fil, de nombreux protocoles ont été développés. Dans ce chapitre, nous avons fait une comparaison entre le protocole multipath ring routing et LEACH en termes de consommation d'énergie et de transfert de paquets. A la base des résultats de la simulation, nous avons conclu que le multipath ring routing réduit l'énergie consommée dans les nœuds de capteur et augmente la durée de vie de l'ensemble du réseau.

Conclusion générale

Conclusion générale

Un réseau de capteurs sans fil RCSF ou WSN (Wireless Sensor Network) est considéré comme un type spécial des réseaux Ad hoc de communication, il est constitué de milliers des nœuds capteur jouent le rôle des hôtes et des routeurs. Ces capteurs sont capables de collecter, traiter et acheminer les données environnementales de la région surveillée, vers des stations de collecte appelées nœuds puits ou stations de base (ou SINK)

La forte croissance des réseaux de capteurs s'est accompagnée de nouveaux défis liés à leurs capacités énergétiques. En raison du nombre limité de sources d'énergie. Dans cette mémoire, j'ai d'abord détaillé les caractéristiques et architecture du capteur. j'ai ensuite décrit et décrit brièvement ce qu'est un réseau dédié et ses caractéristiques, ainsi qu'un réseau de capteurs sans fil constituant un type particulier de réseau ad hoc. Nous avons également confirmé le routage et la virtualisation d'un réseau qui constituent des points clés. La classification des protocoles de routage personnalisés est également décrite, ainsi que les méthodes utilisées par ces protocoles (distance vectorielle et état de corrélation). C'est-à-dire des protocoles de routage proactifs, réactifs et hybrides. J'ai conclu que la plage de transmission et un nombre différent de nœuds de capteur en tant que paramètre système affectaient la consommation électrique globale et les performances du réseau de capteurs sans fil.

Dans cette mémoire, nous avons travaillé à simuler mon réseau, nous avons choisi les membres des nœuds variables, nous avons varié le nombre des nœuds et utilisé deux protocoles pour ces nœuds : LEAH et MULTIPATH RING ROUTING, et nous avons simulé chaque 600 seconde et comparé les deux protocoles à ces résultats, nous avons simulé le fonctionnement de ces Protocoles avec le simulateur OMNeT++ en exploitant les fonctionnalités de la plateforme "Castalia".

Nous avons conclu que, d'après les résultats obtenus, le protocole MULTIPATH RING ROUTING en faveur que le protocole LEACH en termes de consommation d'énergie et une durée de vie. MULTIPATH RING ROUTING offre également une durée de vie prolongée du réseau en raison de la capacité d'économie d'énergie

Références bibliographiques

Références bibliographiques

- [1] Dr Ian F. Akyildiz and Mehmet Can Vuran. Book "Wireless Sensor Networks". This edition first published 2010. John Wiley and Sons Ltd, 2010.
- [2] Akyildiz, I.F., W. Su, Y. Sankarasubramaniam, E. Cayirci, "A Survey on Sensor Networks", IEEE Communications Magazine, August, 102-114(2002).
- [3] Qinghua Wang and I. Balasingham, "Wireless Sensor Networks-An Introduction, Application-Centric Design, Geoff V Merrett and Yen Kheng Tan(Ed), ISBN :978-953-307-321-7, InTech", 2010.
- [4] Memoire télécommunication intitulé "Optimisation d'un protocole de routage AODV dans les Réseaux de capteur sans fil", présenté par Benabdalah Karima, Année 2016.
- [5] SAIDANI Sabrina, SOUALMI Siham, "Routage à basse consommation énergétique dans les réseaux de capteur sans fil à base de l'algorithme de dijkstra", 2014
- [6] B. Krishnamachari, "Networking Wireless Sensors Networks, Cambridge" University Press, 2005.
- [7] YACINE. YOUNES . "Minimisation d'énergie dans un réseau de capteurs." Mémoire de Magister en Informatique, Université Mouloud MAMMARI de Tizi-Ouzou, 2012.
- [8] I. F. Akyildiz, W. Su, Y. Sankarasubramaniam, and E. Cayirci, "Wireless sensor networks": a survey, Computer Networks, vol. 38, pp. 393-422, 2002.
- [9] MAAROUF Samia, OUADAH Souhila, "Implémentation et évaluation des schémas de routage sur une plateforme réelle de réseaux de capteurs sans fil", Mémoire de fin d'études pour l'obtention du diplôme de Master en Informatique option Réseaux et systèmes distribués, Université Abou Bakr Belkaid- Tlemcen, 25 Juin 2014.
- [10] NADIA BOUNEGTA, "Approche distribuée pour la sécurité d'un réseau de capteurs sans fils (RCSF)", Université de Bechar - Ingénieur d'état en informatique 2010
- [11] Arsalan Tavakoli Kannan Srinivasan, Prabal Dutta and Philip Levis. An empirical study of low-power wireless. acm transactions on sensor networks. ACM Transactions on Sensor Networks, 6(16) :1-49, 2010.
- [12] Mehdi Bouallegue, "Protocoles de communication et optimisation de l'énergie dans les réseaux de capteurs sans fil", 2016
- [13] HAMOU ALDJA Kahina, Melle HARKATI Samia, "La Gestion des Données dans les Réseaux de Capteurs sans Fil", 2012
- [14] Abdallah Makhoul, "Réseaux de capteurs : localisation, couverture et fusion de données", Thèse de doctorat en informatique, Université de Franche-Comté, France, 2008.
-

Références bibliographiques

- [15] RAHIM.KACIMI, " Techniques de conservation d'énergie pour les réseaux de capteurs sans fil", Thèse de Doctorat : Réseaux et Télécommunications, Université de Toulouse, France, 2009.
- [16] Mohamed Tabaa, "Conception d'un système de transmission ultra-large bande par impulsions orthogonales ", November 2014.
- [17] M. BOUDAA Okba, "Conception et réalisation d'un protocole de routage pour les réseaux de capteurs sans fil".
- [18] GUETTAF Dihia, HADJAL Lydia, "Amélioration et simulation du protocole",2015
- [19] MOHAMED RAMDANI. "Problèmes de sécurité dans les réseaux de capteurs avec prise en charge de l'énergie." Mémoire de Magister en Informatique, Université SAAD DAHLAB DE BLIDA, Novembre 2013.
- [20]LYES. KHELLADI et NAJIB. BADACHE. " Les réseaux de capteurs: état de l'art." Rapport de recherche, Université USTHB, Alger, Février 2004.
- [21] V. Raghunathan, C. Schurgers, S. Park, and M. B. Srivastava, "Energy-aware wireless microsensor networks". IEEE Signal Processing Magazine, Vol. 19, No. 2, March 2002, pp.40-50.
- [22] W. Heinzelman, A. Chandrakasan, and H. Balakrishnan, "Energy-efficient communication protocol for wireless sensor networks". In the Proceeding of the Hawaii International Conference System Sciences, Hawaii, January 2000.
- [23] Mekki nabil, Mohammedi kada, "Techniques de conservation d'énergie pour les réseaux de capteur sans fil", juin 2018
- [24] Mohamed Younis,Tamer Nadeem "Energy efficient MAC protocols for wireless sensor networks", Technical report, university of Mryland baltimre County, USA, 2004.
- [25] H. Namgoog, D. Lee, and D. Nam. "Energy efficient topology for wireless microsensor networks". ACM, PE-WASUN, October 2005.
- [26] Bendjeddou Amira, "Prolongation de la Durée de Vie des Batteries dans les Réseaux de Capteurs Sans Fil (RCSF) ", 2014.
- [27]YOUCEF ZIANI, "Etude comparative de méthodes de routage dans les Réseaux de capteurs sans fil pour le domaine Résidentiel, mémoire présenté à l'université du Québec à trois-rivières", juin 2013.
- [28] Yaser Yousef, "Routage pour la gestion de l'énergie dans les réseaux de capteurs sans fil, Thèse de Doctorat Spécialité informatique, université de haute alsace", 2010.
-

Références bibliographiques

- [29] Lemia Louail, "Approches cross-layer pour l'optimisation de la latence des communications dans les réseaux de capteurs sans fil. (Approches cross-layer pour l'optimisation de la latence des communications dans les réseaux de capteurs sans fil)", 2016
- [30] BOURIDAH Nawel, SIOUANI Amazigh, "Routage hiérarchique multi-sauts dans les réseaux de capteurs sans fil à basse consommation d'énergie", 2015
- [31] AYOUB Med Seghir, CHERABI Salim, "Proposition d'un algorithme de routage hiérarchique dans les réseaux de capteurs sans fil", 2014
- [32] Anand Pandya, "Performance Evaluation of Multipath Ring Routing Protocol for Wireless Sensor Network".
- [33] BOUZELATA Hocine, "Étude sur la conservation de l'énergie au niveau MAC des réseaux de capteurs sans fil (RCSF) et leur Simulation en utilisant le simulateur Castalia sur la plate forme OMNET++", 2015
- [34] <https://doc.omnetpp.org/omnetpp4/manual/usman.html> . consulté Juillet 2019
- [35] RAACHE Badreddine, BERRAH Belkhir, " ETUDE COMPARATIVE ENTRE LE ROUTAGE CLUSTERING ET QoS DANS LES WBANS POUR M-HEALTH", 2016
-