

*République algérienne démocratique et populaire
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche
Scientifique*



Université 20 Aout 1955 Skikda

Faculté des sciences - Département d'informatique



Mémoire de fin d'études en vue de l'obtention du diplôme

Master académique en informatique

Option : Réseaux et Systèmes Distribués (RSD)

Thème

***Les protocoles hétérogènes de routage dans
les réseaux de capteurs sans fil: DEEC et
EDEEC.***

Réalisé par :

Metarah Yousra

Boudeb Amina

Encadré par :

Pr. Redjimi mohammed

Juin 2024

Remerciements

*Tout d'abord, nous remercions Dieu le tout-puissant de nous
avoir donné la force nécessaire pour réaliser ce travail.*

*Nous adressons nos sincères remerciements et notre appréciation
à notre encadreur Pr. Redjimi Mohammed pour son encadrement,
son accueil et ses conseils.*

*Nous adressons également nos remerciements aux membres du
jury qui ont accepté d'évaluer ce travail.*

Merci à tous et toutes.

Dédicaces

Je dédie ce travail à :

A mes très chers parents

*Et particulièrement ma chère maman qui a toujours été là pour
moi, et qui m'a encouragé durant toutes mes études.*

A mes frères et mes

Et à tous ceux que j'aime.

Résumé

Les réseaux de capteurs sans fil sont composés de centaines de nœuds capteurs compacts et minuscules qui détectent l'environnement physique en termes de température, d'humidité, de lumière, de son, de vibrations, etc. Ces nœuds capteurs recueillent les données du champ de détection et envoient ces informations à l'utilisateur final. Ces nœuds capteurs peuvent être déployés pour de nombreuses applications. L'un des problèmes majeurs des capteurs sans fil concerne les problèmes d'optimisation de la consommation énergétique, la communication, la détection, le stockage d'énergie et le calcul. Le protocole de routage hiérarchique est un routage basé sur la notion de clustering dans lesquelles nœuds de haute énergie sont sélectionnés au hasard pour traiter et envoyer des données pendant que les nœuds à faible énergie sont utilisés pour détecter et envoyer des informations aux chefs de cluster. La technique du clustering permet au réseau de capteurs de fonctionner plus efficacement et permet d'optimiser la consommation d'énergie dans le réseau de capteurs et donc la durée de vie. Les réseaux de capteurs sans fil (RCSFs) consistent en un déploiement aléatoire généralisé de nœuds de capteurs à énergie limitée, de nombreux protocoles de routage ont été proposés sur la base de l'hétérogénéité avec des objectifs de recherche principaux tels que la réalisation l'efficacité énergétique, la durée de vie, et le déploiement des nœuds.

Notre contribution consiste en une étude comparative entre deux protocoles de routage hiérarchique hétérogène basés sur l'approches de clustering à savoir, le protocole DEEC et le protocole EDEEC.

Les simulations effectuées via le simulateur Matlab, ont montré que le protocole EDEEC est capable de prolonger la durée de vie du réseau plus que celle du réseau sous le protocole DEEC.

Mots clés : RCSFs (Réseaux de capteurs sans fil), routage hiérarchique, DEEC, EDEEC, consommation d'énergie, modèle hétérogène.

Abstract

Wireless sensor networks is the network consisting of hundreds of compact and tiny sensor nodes which senses the physical environment in terms of temperature, humidity, light, sound, vibration, etc. These sensor nodes gather the data from the sensing field and send this information to the end user. These sensor nodes can be deployed on many applications. Current wireless sensor network is working on the problems of low-power communication, sensing, energy storage, and computation. Hierarchical-based routing is a cluster based routing in which high energy nodes are randomly selected for processing and sending data while low energy nodes are used for sensing and send information to the cluster heads. Clustering technique enables the sensor network to work more efficiently. It increases the energy consumption of the sensor network and hence the lifetime. Wireless Sensor Networks (WSNs) consist of a widespread random deployment of energy limited sensor nodes, many routing protocols have been proposed based on heterogeneity with primary research goals such as achieving the energy efficiency, lifespan, and node deployment

Our contribution consists of a comparative study between two heterogeneous hierarchical routing protocols based on clustering approaches, namely, the DEEC protocol and the EDEEC protocol.

The simulations carried out via the Matlab simulator, showed that the EDEEC protocol is able to extend the lifetime of the network more than that of the network under the DEEC protocol.

Keywords: WSN (wireless sensor network), hierarchical routing, DEEC, EDEEC, heterogeneous model, energy consumption.

Sommaire

| | |
|--|----|
| <i>Remerciements</i> | 2 |
| <i>Dédicace</i> | 3 |
| Résumé | 4 |
| Abstract | 5 |
| Liste des figures | 10 |
| Liste des tableaux | 10 |
| Introduction générale | 1 |
| Chapitre 1 : Généralités sur les réseaux de capteurs sans fil | 3 |
| 1 Introduction | 4 |
| 2 Les réseaux de capteurs sans fils (RCSFs) | 4 |
| 2.1 Définition d'un réseau capteur | 4 |
| 2.2 Définition d'un réseau capteur sans fil | 4 |
| 2.3 Architecture d'un RCSF | 5 |
| 2.3.1 Nœud..... | 5 |
| 2.3.2 Sink | 5 |
| 2.3.3 Centre de traitement des données:..... | 5 |
| 2.4 Caractéristiques d'un nœud capteur sans fil | 5 |
| 2.4.1 Faible cout | 5 |
| 2.4.2 Efficacité énergétique..... | 6 |
| 2.4.3 Puissance de calcul | 6 |
| 2.4.4 Capacités de communication..... | 6 |
| 2.4.5 Sécurité et confidentialité | 6 |
| 2.4.6 Détection et traitement distribués | 6 |
| 2.4.7 Topologie de réseau dynamique..... | 7 |
| 2.4.8 Auto-organisation..... | 7 |
| 2.4.9 Communication multi-hop..... | 7 |
| 2.4.10 Application..... | 7 |
| 2.4.11 Opérations robustes | 7 |
| 2.4.12 Petite taille physique | 7 |
| 2.5 Architecture matériel d'un nœud capteur :..... | 8 |
| 2.5.1 Unité de captage..... | 8 |

| | | |
|-------|--|-----------|
| 2.5.2 | Unité de traitement..... | 8 |
| 2.5.3 | Unité de communication | 8 |
| 2.5.4 | Unité d'énergie | 8 |
| 3 | Pile protocolaire (Modèle en couches)..... | 9 |
| 3.1 | La couche physique | 10 |
| 3.2 | La couche liaison | 10 |
| 3.3 | La couche réseau | 10 |
| 3.4 | La couche transport..... | 11 |
| 3.5 | La couche application | 11 |
| 4 | Domaine d'application des réseaux capteur sans fils | 11 |
| 4.1 | Applications militaires | 11 |
| 4.2 | Application à la surveillance | 12 |
| 4.3 | Application environnementale | 12 |
| 4.4 | Applications médicales | 12 |
| 4.5 | Applications domestiques | 13 |
| 4.6 | Applications commerciales..... | 14 |
| 4.7 | Applications dans le domaine sportif | 14 |
| 5 | Systèmes d'exploitation pour les capteurs sans fil | 14 |
| 5.1 | TinyOs..... | 14 |
| 5.2 | Contiki | 15 |
| 5.3 | MANTIS..... | 15 |
| 5.4 | Nano-RK..... | 16 |
| 5.5 | LiteOS | 16 |
| 5.6 | SOS | 16 |
| 6 | Problématiques liées aux RCSF..... | 17 |
| 6.1 | L'environnement de communication | 17 |
| 6.2 | L'énergie..... | 18 |
| 6.3 | La topologie du réseau | 18 |
| 6.4 | La tolérance aux fautes..... | 19 |
| 6.5 | L'échelle..... | 19 |
| 6.6 | Les coûts de production | 19 |
| 7 | Conclusion..... | 19 |
| | Chapitre 2 : Les protocoles de routage dans les réseaux de capteurs sans fil..... | 20 |
| 1 | Introduction | 21 |

| | | |
|-------|--|-----------|
| 2 | Protocole de routage..... | 21 |
| 2.1 | L'objectif de protocole de routage peut se résumer en cinq points | 21 |
| 3 | Classification des protocoles de routage dans RCFS :..... | 22 |
| 3.1 | Selon la structure du réseau | 22 |
| 3.1.1 | Routage à plat..... | 22 |
| 3.1.2 | Les protocoles de routage hiérarchique | 24 |
| 3.1.3 | Les protocoles de routage avec localisation géographique | 25 |
| 3.2 | Selon le type d'application | 26 |
| 3.2.1 | Application time-driven | 26 |
| 3.2.2 | Application event-driven | 26 |
| 3.3 | Selon le mode de transmission..... | 27 |
| 3.3.1 | Les protocoles proactifs..... | 27 |
| 3.3.2 | Les protocoles réactif | 27 |
| 3.3.3 | Les protocoles hybrides | 28 |
| 3.4 | Selon le fonctionnement du protocole | 28 |
| 3.4.1 | Routage basé sur la qualité du service..... | 28 |
| 3.4.2 | Routage basé sur les requêtes..... | 29 |
| 3.4.3 | Routage basé sur le multi-chemin | 29 |
| 3.4.4 | Routage basé sur l'agrégation | 29 |
| 3.4.5 | Les protocoles de routage basé sur les interrogations | 30 |
| 3.4.6 | Les protocoles de routage basé sur la négociation des données..... | 30 |
| 3.5 | Selon les paradigmes de communication | 30 |
| 3.5.1 | Protocole centré donnée (data center) | 30 |
| 3.5.2 | Protocole centré position | 31 |
| 4 | L'agrégation de données dans les RCSF..... | 31 |
| 4.1 | Taxonomie des solutions d'agrégation sécurisée dans les RCSF..... | 31 |
| 5 | Conclusion..... | 32 |
| | Chapitre 3 : le routage hiérarchique dans les réseaux de capteurs sans fil..... | 33 |
| 1 | Introduction | 34 |
| 2 | Le routage hiérarchique | 34 |
| 3 | Caractéristiques des protocoles hiérarchiques..... | 35 |
| 3.1 | Le clustering | 35 |
| 3.2 | Cluster | 35 |
| 3.3 | Cluster-Head..... | 35 |

| | | |
|--------|--|-----------|
| 3.4 | Station de base | 35 |
| 3.5 | L'élection des CHs..... | 36 |
| 3.6 | Communication inter-cluster..... | 36 |
| 3.7 | Communication intra-cluster..... | 36 |
| 4 | DEEC (Distributed Energy Efficient Clustering) | 37 |
| 4.1 | Caractéristiques de DEEC..... | 39 |
| 5 | EDEEC (Enhanced Distributed Energy Efficiency Clustering) | 39 |
| 5.1 | Modèle de réseaux hétérogènes | 40 |
| 5.2 | Propriétés du protocole EDEEC | 41 |
| 6 | Algorithme de simulation | 41 |
| 7 | Organigramme de l'algorithme DEEC et EDEEC..... | 42 |
| 8 | Conclusion..... | 43 |
| | Chapitre 4 : Implémentation et résultats de simulation..... | 44 |
| 1. | Introduction | 45 |
| 2. | Environnement de développement..... | 45 |
| 2.1. | Matériel utilisé | 45 |
| 2.2. | Logiciels utilisé..... | 45 |
| 2.2.1. | Présentation du Matlab..... | 45 |
| 3. | Les paramètres de simulation | 47 |
| 4. | Les résultats de la simulation | 48 |
| 5. | Conclusion..... | 52 |
| | Conclusion générale | 54 |
| | Bibliographie..... | 55 |

Liste des figures

| | |
|--|----|
| Figure 1.1: Composants d'un Nœud de Capteur..... | 9 |
| Figure 1. 2: La pile Protocolaire dans Les Réseaux de Capteurs..... | 10 |
| Figure 1.3: Réseau Capteur sans Fil Militaire..... | 12 |
| Figure 1.4 : Réseau Capteur sans Fil Medicales..... | 13 |
| Figure 1. 5 : Les RCSFs pour les Applications Domestiques..... | 13 |
| Figure 1.6 : les RCSFs pour les Applications Commerciales..... | 14 |
| Figure 1.7: TinyOs Architecture..... | 15 |
| Figure 2. 1 : Topologie de Protocole Routage Plat. | 22 |
| Figure 2.2 : SPIN Protocole..... | 24 |
| Figure 2.3 : Routage Hiérarchique..... | 25 |
| Figure 2. 4 : Protocole de Routage avec Localisation Géographique | 26 |
| Figure 2. 5 : Classification de Différentes Techniques D'agrégation dans RCSFs..... | 32 |
| Figure 3.1 : Communication Inter-CH et Intra-CH..... | 36 |
| Figure 3.2: Organigramme de l'algorithme DEEC et EDEEC | 42 |
| Figure 4.1 : Logo Matlab 2009 | 46 |
| Figure 4.2: Editeur de script du programme de simulation sous Matlab 2009.... | 47 |
| Figure 4. 3: Nœuds vivants pendant rounds..... | 49 |
| Figure 4.4: Nœuds Morts pendant rounds..... | 50 |
| Figure 4.5: Paquets envoyés à BS pendant rounds | 51 |
| Figure 4.6: CH pendant rounds..... | 52 |

Liste des tableaux

| | |
|--|----|
| Tableau 1: Les paramètres de simulation..... | 48 |
|--|----|

Introduction générale

Depuis leur création, les réseaux sans fil ne cessent de connaître un succès croissant au sein des communautés scientifiques et industrielles. Au cours de leurs évolutions, ils ont donné naissance à diverses architectures telles que les réseaux cellulaires, les réseaux locaux sans fil, les réseaux Ad hoc, etc.

Durant ces deux dernières décennies, une nouvelle architecture appelée Réseau de Capteur Sans Fil (RCSF) a vu le jour. Le développement de la technologie dans le domaine des RCSF a connu une ascension positive au cours de ces dernières années. C'est ainsi que les réseaux de capteurs sans fil ont provoqué un intérêt certain dans le monde scientifique se traduisant par une avancée technologique considérable notamment dans les domaines militaire, médical, environnemental etc....

Les réseaux capteurs sans fil RCSFs peuvent être définis comme des réseaux sans fil auto-configurés et sans infracteur pour surveiller les conditions physiques ou environnementales, telles que la température, le son, les vibrations, la pression...etc. Malgré les avancées remarquables dans ce domaine, il reste encore beaucoup de problèmes à résoudre. Ainsi, de nombreux protocoles de routage ont été proposés basé sur l'hétérogénéité avec les principaux objectifs de recherche tels qu'atteindre l'efficacité énergétique, la durée de vie, le déploiement des nœuds, tolérance aux pannes, latence, bref haute fiabilité et robustesse.

Dans ce mémoire, nous allons nous intéresser aux problèmes relatifs au routage de données sur les RCSFs et plus précisément le routage hiérarchique. Le routage hiérarchique est considéré comme un outil offrant plus de performance en ce qui concerne la consommation d'énergie par rapport aux autres types de routage.

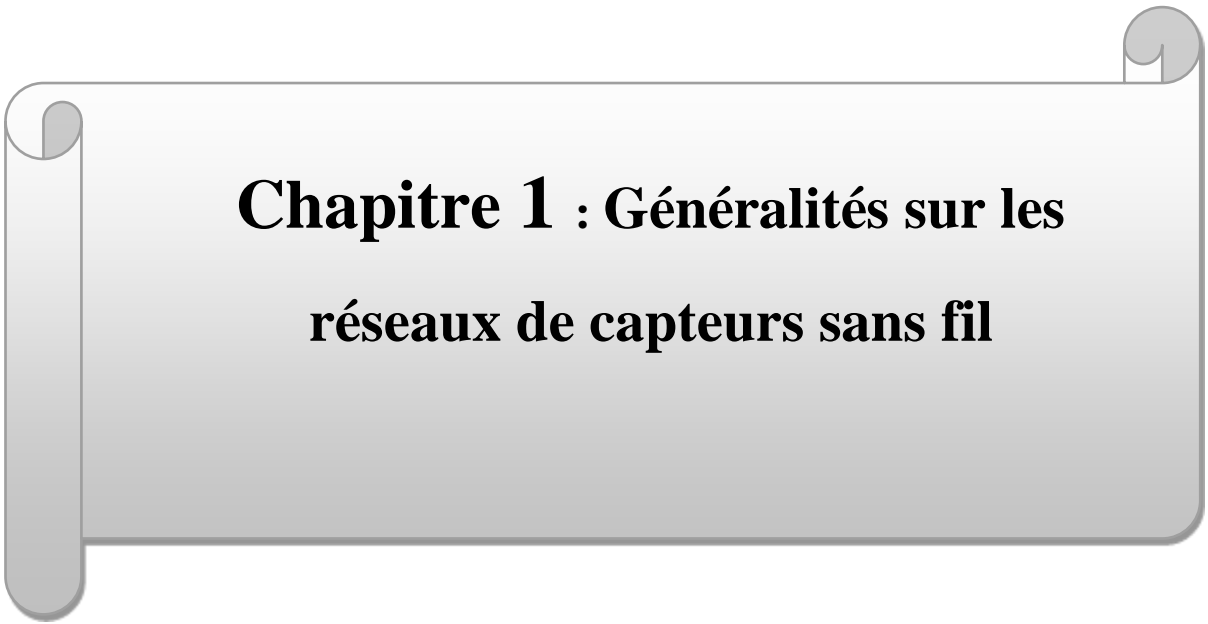
Le routage hiérarchique est un routage basé sur un cluster dans quels nœuds de haute énergie sont sélectionnés au hasard pour traiter et envoyer des données pendant que les nœuds à faible énergie sont utilisé pour détecter et envoyer des informations aux chefs de cluster. La technique de clustering permet au réseau de capteurs de fonctionner plus efficacement. Cette technique augmente la consommation d'énergie de réseau de capteurs et donc la durée de vie.

Dans notre travail, nous nous sommes intéressés au protocole de routage hiérarchique DEEC (Distributed Energy Efficient Cluster ING), DEEC est un protocole d'efficacité énergétique bien connu pour les RCSFs hétérogènes.

Ce mémoire s'articule autour de quatre chapitres :

- ✓ Dans le premier chapitre, nous présentons les réseaux de capteur sans fil, leurs caractéristiques, ainsi que leurs architectures et ses domaines d'application, enfin nous aborderons les problématiques liées aux RCSFs.
- ✓ Dans le deuxième chapitre, nous présentons les protocoles de routage et leur classification dans les RCSFs ainsi que leurs caractéristiques qui permettent de différencier les protocoles de routage.
- ✓ Le troisième chapitre est une présentation de la problématique du routage hiérarchique dans les RCSFs. En se focalisant sur les protocoles hétérogènes DEEC et EDEEC, leurs fonctionnement et caractéristiques.
- ✓ Le quatrième chapitre est dédié à l'implémentation et la simulation des protocoles DEEC et EDEEC avec une comparaison entre eux.

Enfin nous terminons notre mémoire avec une conclusion générale.



Chapitre 1 : Généralités sur les réseaux de capteurs sans fil

1 Introduction

Avec le développement de la technologie ces dernières années, une nouvelle génération de réseaux informatique et de télécommunication est apparue : les réseaux de capteurs sans fil(RCSF).

Les concepts des RCSFs sont bien particuliers comparativement aux réseaux sans fil sont composés d'équipements à ressources limitées en terme de calcul, de stockage et d'énergie.

Dans ce chapitre nous allons présenter les RCSFs ainsi que leurs architectures, caractéristiques, notion d'un nœud capteur et ses domaines d'application. Enfin nous aborderons les problématiques liées aux RCSF.

2 Les réseaux de capteurs sans fils (RCSFs)

2.1 Définition d'un réseau capteur

Un réseau de capteurs est une infrastructure de détection (mesure) composée d'éléments de traitement et d'éléments de communication qui donnent à un administrateur la possibilité d'observer, et réagir à des événements et à des phénomènes dans un environnement spécifié. L'administrateur est généralement une entité civile, gouvernementale, commerciale ou industrielle. L'environnement peut être le monde physique, un système biologique ou un cadre de technologie de l'information (IT). [1]

2.2 Définition d'un réseau capteur sans fil

Un réseau de capteurs sans fil (RCSF) est un réseau sans fil comprenant des dispositifs autonomes distribués spatialement en utilisant des capteurs pour surveiller des conditions physiques ou environnementales. Ce réseau intègre une passerelle appelée SB (Station de base) ou sink en anglais qui permet le retour au monde filaire et au réseau internet, Le protocole sans fil sélectionné dépend des exigences de l'application. Certaines des normes disponibles incluent des radios 2,4 GHz basées sur des normes IEEE 802.15.4 ou IEEE 802.11 (Wi-Fi) ou des radios propriétaires, qui sont généralement de 900 MHz-1900 MHz.

2.3 Architecture d'un RCSF

Un réseau de capteur sans fils est composé de plusieurs nœuds capteur, d'un nœud sink et un centre de traitement de donnée.

2.3.1 Nœud

Un nœud capteur est composé principalement d'un processeur, une mémoire, un émetteur/récepteur radio, un ensemble de capteurs et une pile. Il existe plusieurs modèles commercialisés dans le marché, par exemple : « MICAX » et « TelosBe de Crossbow ». [2]

2.3.2 Sink

C'est un nœud particulier du réseau: Il est chargé de la collecte des données issues des différents nœuds du réseau. Il doit être toujours actif puisque l'arrivée des informations est aléatoire. C'est pourquoi son énergie doit être illimitée. Dans un réseau de capteur sans fil plus ou moins large et à charge un peu élevée, on peut trouver deux sinks ou plus pour alléger la charge.

Il y a essentiellement trois types de sink :

- Un nœud appartenant au réseau comme n'importe quel autre nœud.
- Une entité extérieure au réseau, pour ce deuxième cas, le sink peut être un dispositif extérieur
- Une passerelle vers un autre réseau tel qu'internet. [2]

2.3.3 Centre de traitement des données:

C'est le centre vers lequel les données collectées par le sink sont envoyées. Ce centre a le rôle de regrouper les données issues des nœuds et les traiter de façon à en extraire l'information utile exploitable. Le centre de traitement peut être éloigné du sink [3], alors les données doivent être transférées à travers un autre réseau, c'est pourquoi on introduit une passerelle entre le sink et le réseau de transfert pour adapter le type de données au type du canal.

2.4 Caractéristiques d'un nœud capteur sans fil

2.4.1 Faible coût

Dans le RCSF des centaines ou des milliers de nœuds de capteurs sont déployés pour mesurer n'importe quel environnement physique. Afin de réduire le coût global de l'ensemble du réseau, le coût du nœud de capteur doit être maintenu aussi bas que possible.

2.4.2 Efficacité énergétique

L'énergie dans les RCSFs est utilisée à des objectifs différents tels que le calcul, la communication et le stockage. Le nœud de capteur consomme plus d'énergie que tout autre pour la communication. S'ils sont à court d'énergie, ils deviennent souvent invalides car nous n'avons aucune option de recharge. Ainsi, le développement des protocoles et des algorithmes doit tenir compte de la consommation d'énergie lors de la phase de conception.

2.4.3 Puissance de calcul

Le nœud a des capacités de calcul limitées car le coût et l'énergie doivent être prise en compte.

2.4.4 Capacités de communication

Les RCSFs communiquent généralement en utilisant des ondes radio sur un canal sans fil. Ils ont la propriété de communiquer à courte portée avec une bande passante étroite et dynamique. Le canal de communication peut être bidirectionnel ou unidirectionnel. Avec l'environnement opérationnel non surveillé et hostile, il est difficile d'exécuter les protocoles en douceur. Ainsi, le matériel et les logiciels de communication doivent tenir compte de la robustesse, de la sécurité et de la résilience.

2.4.5 Sécurité et confidentialité

Chaque nœud capteur doit disposer de mécanismes de sécurité suffisants pour empêcher les accès non autorisés, les attaques et les dommages involontaires aux informations à l'intérieur du réseau de capteurs. En outre, des mécanismes de protection de la vie privée supplémentaires doivent également être inclus

2.4.6 Détection et traitement distribués

Le grand nombre de nœuds de capteurs est distribué de manière uniforme ou aléatoire. Chaque nœud est capable de collecter, trier, traiter, agréger et envoyer les données à la BS. Par conséquent, la détection distribuée assure la robustesse du système.

2.4.7 Topologie dynamique de réseau

En général, les RCSFs sont des réseaux dynamiques. Un nœud capteur peut échouer en cas d'épuisement de la batterie ou dans d'autres circonstances. Le canal de communication peut être interrompu et des nœuds capteur supplémentaires peuvent être ajoutés au réseau, ce qui entraîne des changements fréquents dans la topologie du réseau. Ainsi, les nœuds RCSF doivent être embarqués avec des fonctions de reconfiguration et d'auto-ajustement.

2.4.8 Auto-organisation

Les nœuds capteurs du réseau doivent avoir la capacité de s'organiser car ils peuvent être déployés de manière inconnue dans un environnement non surveillé et hostile. Les nœuds capteurs travaillent en collaboration pour s'ajuster à l'algorithme distribué et former le réseau automatiquement.

2.4.9 Communication multi-hop

Un grand nombre de nœuds de capteurs sont déployés dans les RCSFs. Ainsi, le moyen réalisable de communiquer avec la station de base est de prendre l'aide d'un nœud intermédiaire via le chemin de routage. Si l'on a besoin de communiquer avec d'autres nœuds ou si la station de base est au-delà de la fréquence radio, on utilise le routage multi-sauts par nœuds intermédiaires.

2.4.10 Application

Les réseaux de capteurs sans fil RCSFs sont différents des réseaux conventionnels en raison de leur nature. Il dépend fortement des gammes d'applications du secteur militaire, environnemental et de la santé. Les nœuds sont déployés de manière aléatoire et répartis en fonction du type d'utilisation.

2.4.11 Opérations robustes

Puisque les capteurs vont être déployés dans un environnement vaste et parfois hostile, les nœuds de capteur doivent être tolérants aux pannes et aux erreurs. Par conséquent, les nœuds capteur doivent pouvoir s'autotester, s'auto-étalonner et s'auto-réparer.

2.4.12 Petite taille physique

Les nœuds capteur sont généralement de petite taille avec une plage restreinte. En raison de sa taille, son énergie est limitée, ce qui rend la capacité de communication faible.

2.5 Architecture matériel d'un nœud capteur :

Un nœud capteur est composé de quatre unités de base : Unité de captage, unité de traitement, Unité de communication, Unité d'énergie.

2.5.1 Unité de captage

Elle est composée d'une collection de différents types des capteurs nécessaires pour mesurer différents phénomènes de l'environnement physique. Les capteurs sont sélectionnés en fonction de l'application. La sortie du capteur est un signal électrique analogique. Ainsi, le convertisseur analogique-numérique (ADC) est utilisé pour transformer le signal en numérique pour communiquer avec le microcontrôleur. [5]

2.5.2 Unité de traitement

Elle se compose d'un processeur (microcontrôleur) et stockage (RAM). De plus, il a des systèmes d'exploitation comme ainsi que la minuterie. La responsabilité de l'unité de traitement comprend la collecte de données provenant de diverses sources que le traitement et stockage. La minuterie est utilisée pour faire le séquençage pour la séquence. [6]

2.5.3 Unité de communication

Elle utilise un émetteur-récepteur qui se compose d'un émetteur ainsi qu'un récepteur. La communication est effectuée via les canaux de communication en utilisant le protocole réseau. Sur la base des exigences de l'application et pertinence afin de communiquer il utilise normalement méthode telle que la communication radio, infrarouge ou optique. [7]

2.5.4 Unité d'énergie

Fournir l'énergie vers le nœud de capteur pour surveiller l'environnement à un faible coût et moins de temps. La durée de vie du capteur dépend de la batterie ou générateur électrique connecté à unité d'alimentation. L'unité d'alimentation est nécessaire pour une utilisation efficace de la batterie. [8]

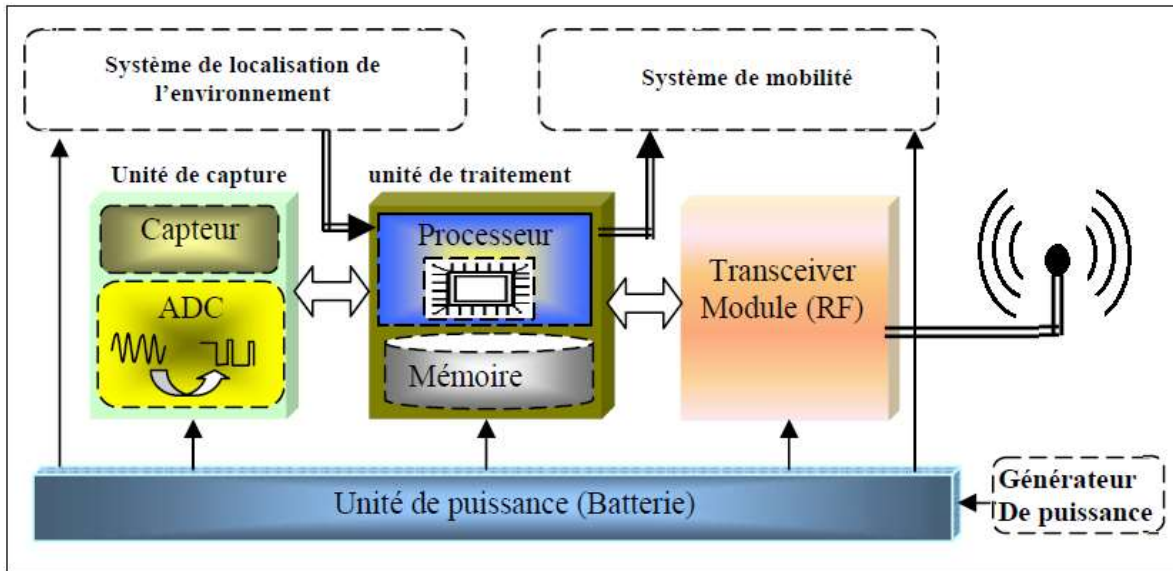


Figure 1.1: Composants d'un Nœud de Capteur.

3 Pile protocolaire (Modèle en couches)

Le rôle de cette pile consiste à standardiser la communication entre les composants du réseau afin que différents constructeurs puissent mettre au point des produits (logiciels ou matériels) compatibles. Cette pile comprend 5 couches : la couche application, la couche transport, la couche réseau, la couche liaison de données et la couche physique ; ainsi que 3 plans de gestion : le plan de gestion des tâches qui permet de bien affecter les tâches aux nœuds capteurs, le plan de gestion de mobilité qui garde une image sur la localisation des nœuds pendant la phase de routage, et le plan de gestion de l'énergie qui permet de préserver le maximum d'énergie.

Le but d'un système en couches est de séparer le problème en différentes parties selon leur niveau d'abstraction. Chaque couche du modèle communique avec une couche adjacente. Chaque couche utilise ainsi les services des couches inférieures et en fournit à celle de niveau supérieur.

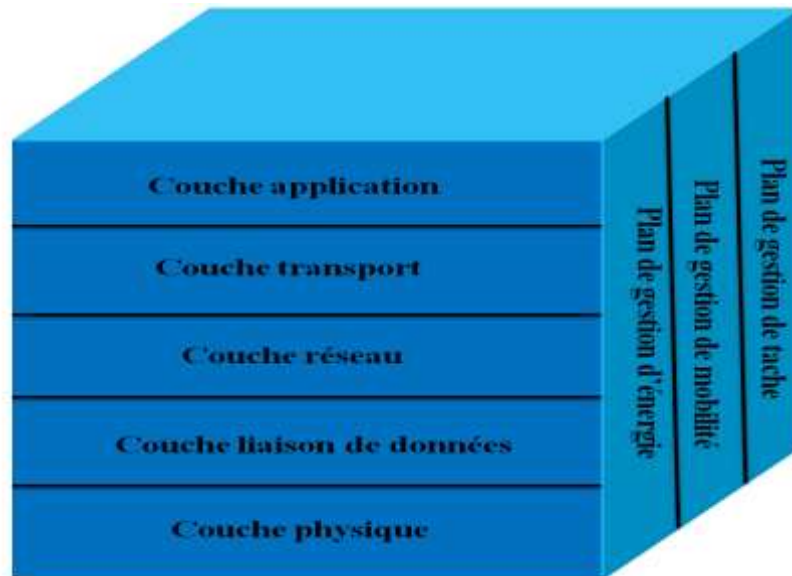


Figure1. 2: La pile Protocolaire dans Les RCSFs

3.1 La couche physique

Spécifications des caractéristiques matérielles, des fréquences porteuses, etc...

3.2 La couche liaison

Spécifie comment les données sont expédiées entre deux nœuds/routeurs dans une distance d'un saut. Elle est responsable du multiplexage des données, du contrôle d'erreurs, de l'accès au media, Elle assure la liaison point à point et multipoint dans un réseau de communication.

3.3 La couche réseau

Dans la couche réseau le but principal est de trouver une route et une transmission fiable des données, captées, des nœuds capteurs vers la station de base "sink" en optimisant l'utilisation de l'énergie des capteurs. Ce routage diffère de celui des réseaux de transmission ad hoc sans fils par les caractéristiques suivantes:

- il n'est pas possible d'établir un système d'adressage global vu le grand nombre de nœuds.
- les applications des réseaux de capteurs exigent l'écoulement des données mesurées de sources multiples à un puits particulier.

- les multiples capteurs peuvent produire de mêmes données à proximité d'un phénomène (redondance).
- les nœuds capteur exigent ainsi une gestion soignée des ressources. En raison de ces différences, plusieurs nouveaux algorithmes ont été proposés pour le problème de routage dans les réseaux de capteurs. [9]

3.4 La couche transport

Cette couche est chargée du transport des données, de leur découpage en paquets, du contrôle de flux, de la conservation de l'ordre des paquets et de la gestion des éventuelles erreurs de transmission. [9]

3.5 La couche application

Cette couche assure l'interface avec les applications. Il s'agit donc du niveau le plus proche des utilisateurs, géré directement par les logiciels. [9]

4 Domaine d'application des réseaux capteur sans fils

La miniaturisation, l'adaptabilité, le faible coût et la communication sans fil permettent aux réseaux de capteurs d'envahir plusieurs domaines d'applications. Ils permettent aussi d'étendre le domaine des applications existantes. Parmi ces domaines où ces réseaux se révèlent très utiles et peuvent offrir de meilleures contributions, on peut noter la surveillance, le militaire, la santé, le scientifique, l'industriel, le médical, le climatique, l'environnemental etc. Voici quelques exemples d'applications potentielles dans ces différents domaines :

4.1 Applications militaires

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 RCSFs permettent la détection des mouvements ennemis sur un champ de bataille ou bien de tracer leurs mouvements. De façon analogue, ils peuvent permettre la détection d'intrusion ou de cambriolage dans le domaine de la sécurité civile.

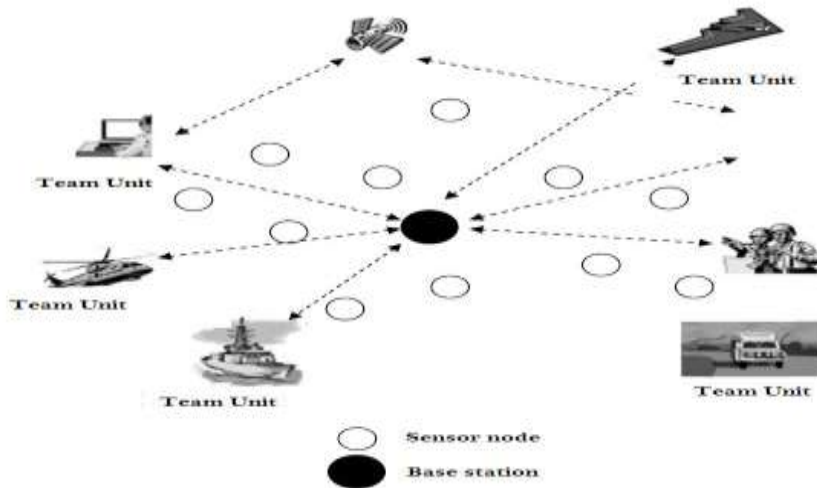


Figure 1.3: Réseau Capteur sans Fil Militaire.

4.2 Application à la surveillance

L'application des réseaux de capteurs dans le domaine de 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 ou les bâtiments aidera à détecter les fissures et les altérations dans la structure suite à un séisme ou au vieillissement de la structure. Le déploiement d'un réseau de capteurs de mouvement peut constituer un système d'alarme qui servira à détecter les intrusions dans une zone de surveillance.

4.3 Application environnementale

Dans ce domaine, les capteurs peuvent être exploités pour détecter les catastrophes naturelles (feux de forêts, tremblements de terre, etc.), détecter des fruits des produits toxiques (gaz, produits chimiques, pétrole, etc.) dans des sites industriels tels que les centrales nucléaires et les pétrolières.

4.4 Applications médicales

Les réseaux de capteurs sans fil ont été intégrés dans le domaine de la médecine, pour assurer une surveillance permanente des malades comme la température du corps, la tension artérielle, la quantité de sucre dans le corps, la surveiller le rythme cardiaque. Toutes ces données sont transmises à un ordinateur et évaluées par un médecin pour la surveillance du patient. [10]

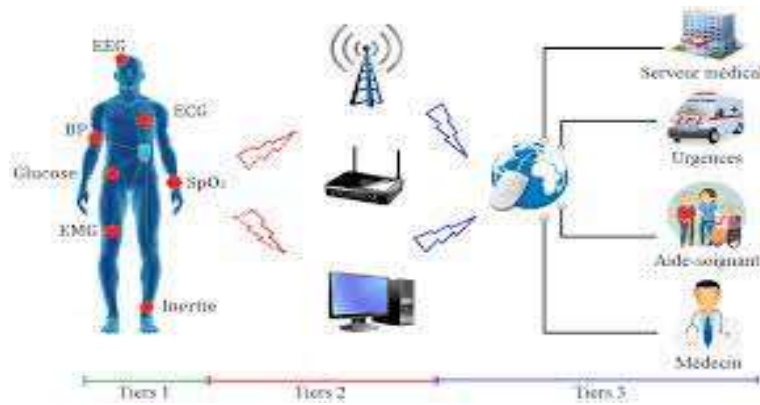


Figure1.4 : Réseau Capteur sans Fil Médicale

4.5 Applications domestiques

Le déploiement des capteurs de mouvement et de température dans les futures maisons dites intelligentes permet d'automatiser plusieurs opérations domestiques telles que : la lumière qui s'éteint et la musique qui se met en état d'arrêt quand la chambre est vide, la climatisation et le chauffage s'ajustent selon les points multiples de mesure, le déclenchement d'une alarme par le capteur anti-intrusion quand un intrus veut accéder à la maison.

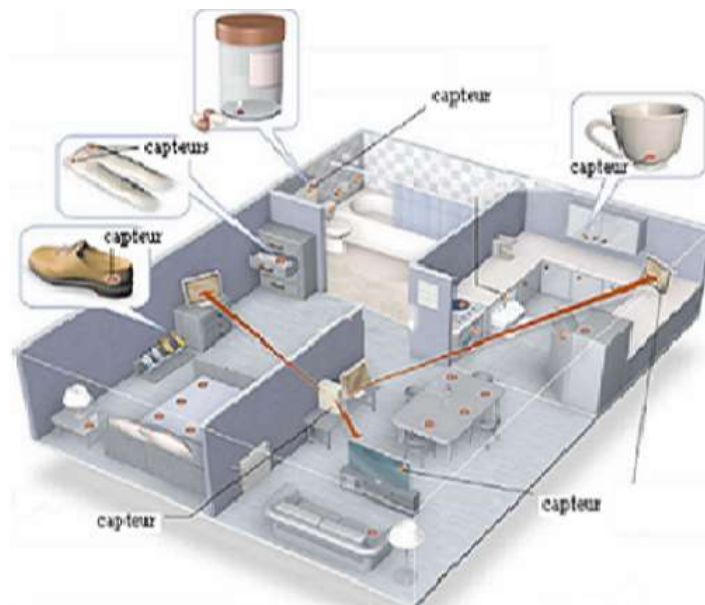


Figure1. 5 : Les RCSFs pour les Application Domestique

4.6 Applications commerciales

Le réseau de capteur pourra être utilisé pour connaître la position, l'état et la direction d'un paquet. Il devient alors possible pour un client qui attend la réception d'un paquet, d'avoir un avis de livraison en temps réel. Pour les entreprises manufacturières, les réseaux de capteurs permettront de suivre le procédé de production à partir des matières premières jusqu'au produit final livré.



Figure 1.6 : les RCSFs pour les Applications Commerciales

4.7 Applications dans le domaine sportif

L'évolution des réseaux de capteurs est utilisée de plus en plus dans le domaine sportif, à savoir les systèmes de surveillance, les systèmes de calcul de trajectoires (comme dans le tennis), systèmes de détection d'erreurs d'arbitrage (comme dans le football indiquent si la balle a franchi la ligne de but). [11]

5 Systèmes d'exploitation pour les capteurs sans fil

5.1 TinyOs

C'est un système d'exploitation open source, flexible, basé sur des composants et spécifique à une application conçu pour les réseaux de capteurs. TinyOs peut prendre en charge des programmes simultanés avec une mémoire très faible conditions. Le système d'exploitation a une empreinte qui tient dans 400 octets. La bibliothèque de composants

TinyOs comprend protocoles réseau, services distribués, pilotes de capteurs et outils d'acquisition de données. [12]

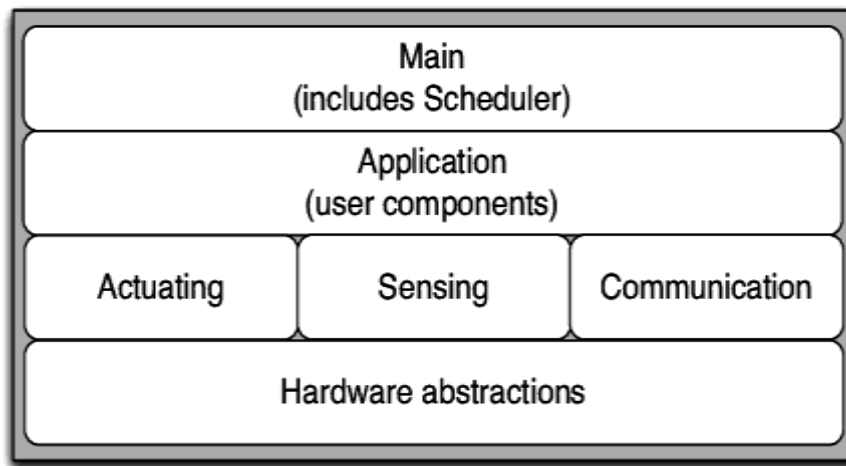


Figure 1.7: Architecture de TinyOs

5.2 Contiki

Contiki est un système d'exploitation open source qui fonctionne sur de minuscules microcontrôleurs bas consommation et permet de développer des applications qui utilisent efficacement le matériel tout en fournissant une communication sans fil standardisée à faible puissance pour une gamme de plates-formes matérielles. Contiki est utilisé dans de nombreux systèmes commerciaux et non commerciaux, tels que la surveillance du son de la ville, les lampadaires, les compteurs d'énergie électrique en réseau, la surveillance industrielle, la surveillance des rayonnements, la surveillance des chantiers de construction, les systèmes d'alarme, la surveillance à distance des maisons...etc. [13]

5.3 MANTIS

MANTIS OS vise une faible empreinte mémoire, facile à architecture du programme et prise en charge de plusieurs threads préemptifs. Il suit une programmation threadée prioritaire modèle similaire au POSIX classique avec un ordonnanceur basé sur priorités et une politique de round-robin pour les threads avec même priorité. L'OS se compose d'un noyau avec planificateur intégré, un serveur de commande et un système de pilote de périphérique. Ça supporte exclusion mutuelle et sémaphores. Il intègre également une pile de communications de bas niveau pour les interfaces de communication série et radio, y compris une couche MAC et une couche d'abstraction de périphérique qui fournit un accès uniforme aux

périphériques. MANTE Le système d'exploitation est principalement implémenté en C et plusieurs ports existent pour différentes plates-formes. [14]

5.4 Nano-RK

Nano-RK est un système d'exploitation multitâche fixe et préemptif en temps réel pour les WSN. Les objectifs de conception pour Nano-RK sont multitâches, prise en charge de la mise en réseau multi-sauts, prise en charge de la planification basée sur les priorités, rapidité et planification, durée de vie de RCSF étendue, limites d'utilisation des ressources d'application et empreinte. Nano-RK utilise 2 Ko de RAM et 18 Ko de ROM. Nano-RK prend en charge le processeur, capteurs et réservations de bande passante réseau. Nano-RK prend en charge les applications en temps réel dures et douces au moyen de différents algorithmes d'ordonnancement en temps réel, par exemple, l'ordonnancement monotone de débit et le débit programmation harmonisée. Nano-RK fournit une prise en charge réseau via une abstraction de type socket. Nano-RK prend en charge les plates-formes de détection FireFly et MicaZ. [15]

5.5 LiteOS

Est un système d'exploitation de type Unix-like conçu pour les RCSFs de l'Université de l'Illinois à Urbana-Champaign. Les motivations derrière la conception d'un nouveau système d'exploitation pour WSN sont de fournir un Système d'exploitation de type Unix pour WSN, offre aux programmeurs système un paradigme de programmation familier(mode de programmation basé sur les threads, bien qu'il prenne en charge l'enregistrement des gestionnaires d'événements à l'aide de callbacks), un système de fichiers hiérarchique, prise en charge de la programmation orientée objet sous la forme de LiteC ++,et un shell de type Unix. L'empreinte de LiteOS est suffisamment petite pour fonctionner sur des nœuds MicaZ ayant un 8 MHzCPU, 128 octets de mémoire flash de programme et 4 Ko de RAM. LiteOS est principalement composé de trois composants: LiteShell, LiteFS et le noyau. [15]

5.6 SOS

Est un nouveau système d'exploitation pour mote-class nœuds de capteur prenant en charge la reconfiguration à l'exécution de logiciel embarqué. L'architecture de SOS se compose de modules chargés dynamiquement et une compilation statique noyau. Une application dans SOS est composée d'un ou plusieurs modules interagissant via des messages asynchrones ou des appels de fonction. Les modules sont indépendants de la position binaire qui implémente

une tâche ou une fonction spécifique. Ils fonctionnent sur leur propre état qui est alloué dynamiquement à l'exécution. Des exemples de modules sont les protocoles de routage, pilotes de capteur et programmes d'application, etc. [16]

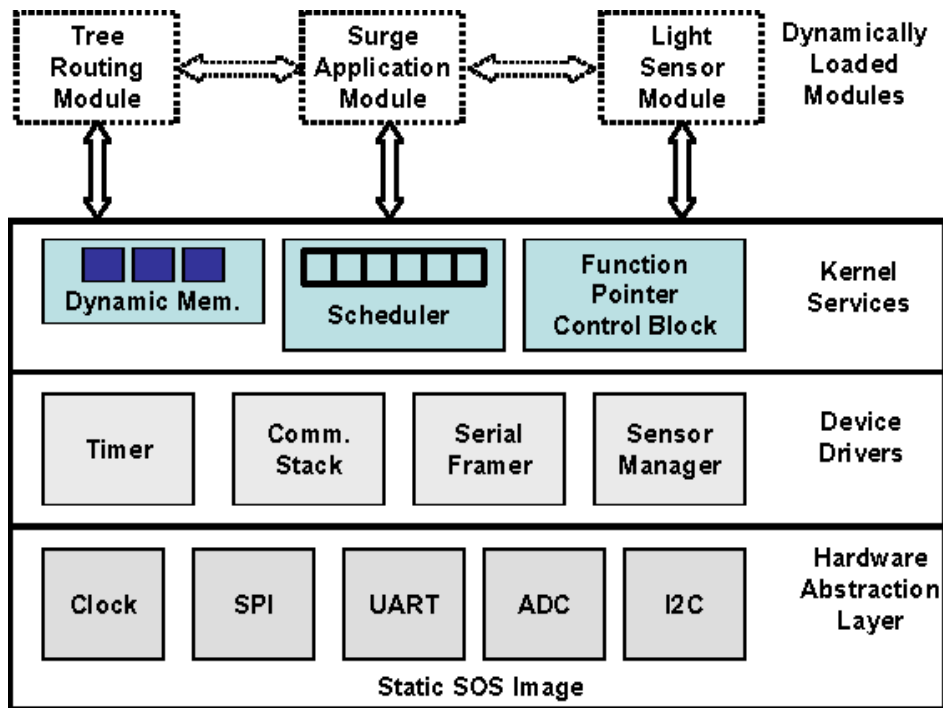


Figure 1.8 : SOS Architecture-FunctionLayout

6 Problématiques liées aux RCSF

Les principales problématiques posées par les réseaux de capteurs sans fil peuvent être résumés comme suit:

6.1 L'environnement de communication

Les nœuds de capteurs sont densément déployés soit très proche ou directement à l'intérieur du phénomène à observer. Par conséquent, ils travaillent généralement sans surveillance régions géographiques éloignées. Ils travaillent peut-être

- dans les intersections achalandées.
- à l'intérieur d'une grosse machinerie.
- au fond d'un océan.

- dans un twister.
- à la surface d'un océan lors d'une tornade.
- dans un environnement biologiquement ou chimiquement contaminé domaine.
- sur un champ de bataille au-delà des lignes ennemies.
- dans une maison ou un grand bâtiment.
- dans un grand entrepôt.
- attaché aux animaux.
- attaché à des véhicules à déplacement rapide.
- dans un drain ou une rivière se déplaçant avec le courant.

Cette liste nous donne une idée sous laquelle condition de fonctionnement attendu des nœuds de capteurs. Ils travaillent sous haute pression dans le fond d'océan, dans des environnements difficiles tels que des débris ou un champ de bataille, sous une chaleur et un froid extrêmes comme dans la tuyère d'un moteur d'avion ou en arctique régions, et dans un environnement extrêmement bruyant comme sous brouillage intentionnel. [17]

6.2 L'énergie

Le nœud de capteur sans fil, étant un dispositif microélectronique, ne peut être équipé que d'une source d'alimentation ($<0,5$ Ah, 1,2 V). Dans certains scénarios d'application, le réapprovisionnement des ressources d'énergie pourrait être impossible. La durée de vie du nœud de capteur montre donc une forte dépendance à la durée de vie de la batterie. Dans un réseau de capteurs ad hoc multi-sauts, chaque nœud joue le double rôle de créateur de données et routeur de données. Le dysfonctionnement de quelques nœuds peut provoquer des changements topologiques importants et pourrait nécessiter un réacheminement des paquets et une réorganisation du réseau. Par conséquent, la conservation de l'énergie et la gestion de l'alimentation revêt une importance supplémentaire. C'est pour ces raisons que les chercheurs sont se concentrant actuellement sur la conception de protocoles et algorithmes pour réseaux de capteurs.

6.3 La topologie du réseau

Un grand nombre de personnes inaccessibles et sans surveillance les nœuds de capteurs, sujets à des pannes fréquentes, I.F. Akyildiz et coll [44] font de la maintenance de la topologie une tâche difficile.

Des centaines à plusieurs milliers de nœuds sont déployés dans le champ du capteur. Ils sont déplacés à quelques dizaines de pieds l'un de l'autre. Les densités de nœuds peuvent atteindre 20 nœuds / m³. Le déploiement d'un grand nombre de nœuds nécessite une gestion prudente de la maintenance de la topologie.

6.4 La tolérance aux fautes

Certains nœuds peuvent générer des erreurs ou ne plus fonctionner à cause d'un manque d'énergie, un problème physique ou une interférence. Ces problèmes n'affectent pas le reste du réseau, c'est le principe de la tolérance de fautes. La tolérance de fautes est la capacité de maintenir les fonctionnalités du réseau sans interruptions dues à une erreur intervenue sur un ou plusieurs capteurs.

6.5 L'échelle

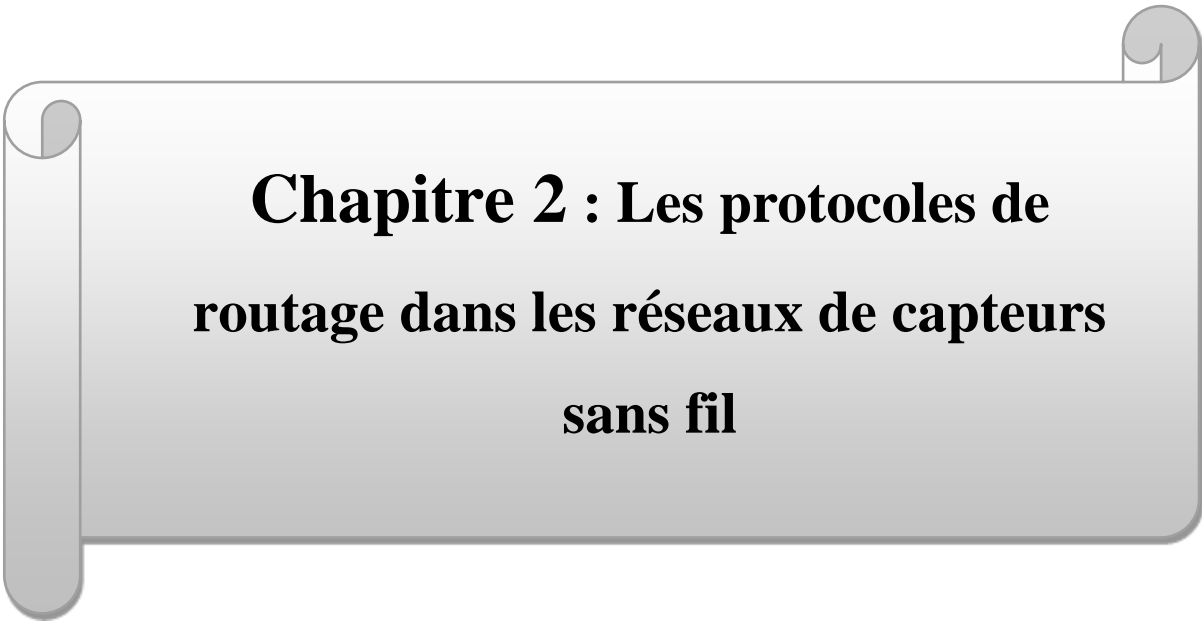
Le nombre des nœuds déployés pour un projet peut atteindre le million. Un nombre aussi important de nœuds engendre beaucoup de transmissions inter nodales et nécessite que le puits "sink" soit équipé de beaucoup de mémoire pour stocker les informations reçues.

6.6 Les coûts de production

Souvent, les réseaux de capteurs sont composés d'un très grand nombre de nœuds. Le prix d'un nœud est critique afin de pouvoir concurrencer un réseau de surveillance traditionnel. Actuellement un nœud ne coûte souvent pas beaucoup plus que 1\$. A titre de comparaison, un nœud Bluetooth, pourtant déjà connu pour être un système low-cost, revient environ à 10\$. [18]

7 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présenté brièvement les réseaux capteurs sans fil (RCSFs). Les RCSF possèdent des caractéristiques particulières qui les différencient des autres types de réseaux. Ces spécificités telles que la consommation d'énergie réduite, la scalabilité ou le routage incitent le besoin de concevoir de nouveaux protocoles de routage, de sécurité, de transport ou d'application, qui s'adapteront aux caractéristiques des RCSF. Et c'est ce dont nous parlerons dans le chapitre suivant.



**Chapitre 2 : Les protocoles de
routage dans les réseaux de capteurs
sans fil**

1 Introduction

Les réseaux de capteurs sans fil sont principalement alimentés par batterie. Donc La conservation d'énergie est un problème majeur dans ces réseaux de capteurs, en particulier dans les environnements agressifs tels que les champs de bataille...etc. Chaque nœud de ce réseau a des ressources énergétiques limitées en raison d'une quantité d'énergie partielle. L'énergie représente un défi majeur pour les concepteurs lors de la conception de réseaux de capteurs.

Le routage consiste à trouver un chemin entre une source de donnée et le destinataire de ses données Ainsi, les protocoles de routage doit être économe en énergie et prolonger la durée de vie du réseau.

Ce chapitre est organisé de la manière suivante : en premier lieu nous présenterons les protocoles de routage et leurs classifications dans les RCSFs ainsi que leurs caractéristiques qui permettent de différencier les protocoles de routage.

2 Protocole de routage

Le protocole de routage est un programme distribué qui sert à déterminer la route Optimale pour le transfert de données entre deux nœuds (source, destination).

2.1 L'objectif de protocole de routage peut se résumer en cinq points

- découvrir dynamiquement les routes vers les sous réseaux d'un réseau et les inscrire dans une table de routage ;
- s'il existe plusieurs routes vers un sous réseau, inscrire la route la meilleure (la plus courte) ;
- détecter les routes qui ne sont plus valides et les supprimer de la table ; si le réseau dont le chemin est supprimé peut-être accédé par le biais d'un autre routeur, inscrire ce nouveau chemin dans la table en remplacement du chemin supprimé.

- ajouter le plus rapidement possible de nouvelles routes, ou mettre à jour le plus vite possible les routes considérées comme meilleures : le temps qui s'écoule entre la perte d'une route et la découverte d'une autre route s'appelle le temps de convergence.
- empêcher les boucles de routage. [19]

3 Classification des protocoles de routage dans RCFS :

Les protocoles de routage peuvent être classés de différentes façons comme suit :

3.1 Selon la structure du réseau

Les protocoles de routage basés sur la structure du réseau peuvent être classés en trois catégories : protocoles à plat, protocoles hiérarchiques et protocoles basés sur la localisation géographique.

3.1.1 Routage à plat

Comme illustré sur la Figure 2.1 cette catégorie de protocoles, les nœuds ont le même rôle. Les nœuds sont semblables en termes de ressources et seul la station de base est chargé de la collecte de données issues des différents nœuds capteurs, les données seront transmises en utilisant des sauts multiples. Une approche Appelée également routage centré données utilisée dans l'acheminement des données dans les RCSFs, Elle se base sur la collaboration de tous les nœuds du réseau. [20]

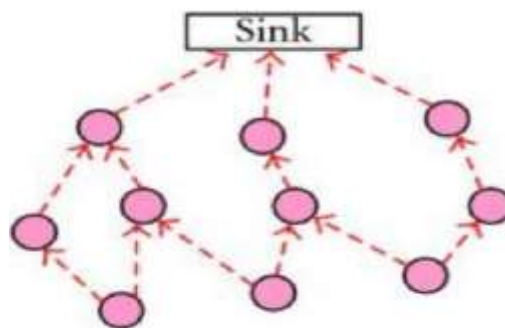


Figure2. 8 : Topologie de Protocole Routage Plat.

On peut citer comme un exemple : Le protocole SPIN, et DD (Directed Diffusion)

3.1.1.1 Le protocole DD (Directed Diffusion)

Directed Diffusion est un protocole de propagation de données, permettant d'utiliser plusieurs chemins pour le routage d'information. Le puits diffuse un intérêt sous forme de requête, afin d'interroger le réseau sur une donnée particulière. Il se base sur le modèle publish/subscribe. DD repose sur quatre éléments : nomination des données, propagation des intérêts et établissement des gradients, propagation des données et renforcement des chemins. [21]

3.1.1.2 Le protocole SPIN

Heinzelman et al [22] ont proposé une famille de protocoles appelée SPIN (Sensor Protocols for Information via Négociation). C'est un protocole de routage Data-centric qui utilise des techniques de négociation afin d'éliminer les problèmes de redondance de données dans le routage. Il est basé sur l'idée que les nœuds capteurs opèrent plus efficacement et conservent l'énergie en envoyant des données qui décrivent les données des capteurs au lieu d'envoyer les données entières, à moins que les données entières ne soient explicitement demandées. Cela permet de pallier aux problèmes d'inondation qui sont :

- L'implosion due à la duplication inutile des réceptions d'un même message
- Le chevauchement lié au déploiement dense des capteurs
- L'ignorance des ressources, car d'inondation ne prend pas en considération les ressources des nœuds.

Pour ce qui est du fonctionnement les communications dans SPIN se font en trois étapes. [23]

- Lorsqu'un nœud veut émettre une donnée, il émet d'abord un message ADV contenant une description de la donnée en question.
- Un nœud recevant un message ADV, consulte sa base d'intérêt. S'il est intéressé par cette information, il émet un message REQ vers son voisin.
- En recevant un message REQ, l'émetteur transmet à l'intéressé la donnée sous forme d'un message DATA.

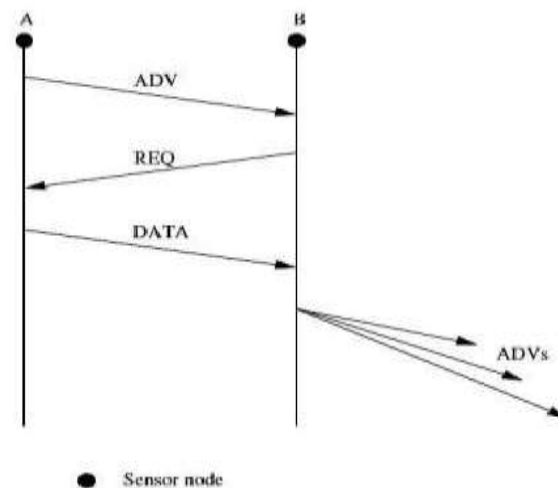


Figure 9.2 : SPIN Protocole

3.1.2 Les protocoles de routage hiérarchique

Dans la topologie hiérarchique ou en cluster, divers nœuds sont combinés pour former des clusters. Routage hiérarchique proposées à l'origine dans les réseaux filaires, sont des techniques bien connues avec des avantages particuliers liés à l'évolutivité et à une communication efficace, Afin d'augmenter la scalabilité du système, les topologies hiérarchiques ont été introduites en divisant les nœuds en plusieurs niveaux de responsabilité. L'une des méthodes les plus employées est le clustering, où le réseau est partitionné en groupes appelés "clusters". Un cluster est constitué d'un chef (cluster-Head) de ses membres. [24]

L'objectif principal de l'approche de clustering est de maintenir efficacement la consommation d'énergie de nœuds de capteurs en les impliquant dans la communication multi-hop au sein d'un cluster et en effectuant l'agrégation et la fusion des données afin de diminuer le nombre de messages transmis à la station de base.

LEACH (Low Energy Adaptive Hierarchical) est l'une de premières approches de routage hiérarchique pour les réseaux capteur. [25]

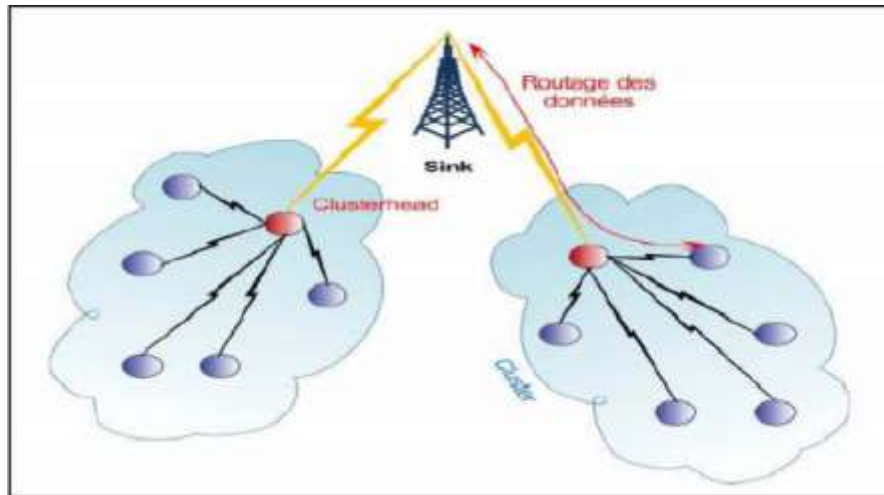


Figure 2.10 : Routage Hiérarchique

3.1.2.1 Le protocole de routage «LEACH »

LEACH est l'un des algorithmes 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 cluster-heads locaux comme passerelle pour atteindre la destination. Cela permet d'économiser de l'énergie car les transmissions ne sont effectuées que par les cluster-heads plutôt que par tous les nœuds de capteurs. [26][27]

3.1.3 Les protocoles de routage avec localisation géographique

Dans ce type de routage, les nœuds capteurs sont adressés en fonction de leurs localisations. L'idée des protocoles de routage géographique est d'utiliser des informations géographiques pour acheminer les paquets. Pour simplifier la présentation pour la maintenance ainsi que pour le transfert de données.

Ce type de protocoles, chaque nœud du réseau connaît sa position et celle de ses voisins. Le positionnement du nœud peut être obtenu en utilisant un système géo-positionnement tel que le GPS ou bien via des algorithmes de positionnement relatif. Il peut donc calculer sa distance et celle de ses voisins à la destination et envoie l'information à son voisin qui le rapproche le plus de la destination finale. [28] [29]

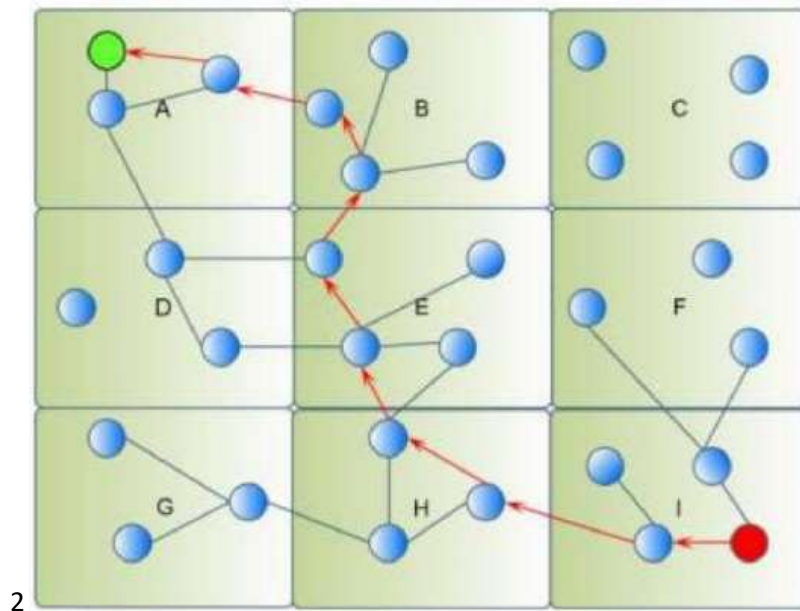


Figure2. 11 : Protocole de Routage avec Localisation Géographique

3.2 Selon le type d'application

La méthode de captage des données dans un RCSF dépend de l'application et de l'importance de la donnée. De ce fait, les RCSFs peuvent être catégorisés comme Time-driven ou event-driven.

3.2.1 Application time-driven

Un réseau time-driven est approprié pour des applications qui nécessitent un prélèvement périodique des données. Par exemple, cela est utile dans des applications de monitoring (feu, météo) afin d'établir des rapports périodiques.

3.2.2 Application event-driven

Dans des applications temps réel, les capteurs doivent réagir immédiatement à des changements soudains des valeurs captées. Un prélèvement périodique des données est inadapté pour ce type de scénarios. Pour cela, le protocole doit être réactif et doit donner des réponses rapides à l'occurrence d'un certain nombre d'évènements. [30]

3.3 Selon le mode de transmission

3.3.1 Les protocoles proactifs

Les protocoles proactifs construisent et mettent à jour régulièrement les tables de routage de tous les nœuds du réseau.

L'avantage de ces protocoles est que la topologie du réseau est connue en permanence par l'ensemble du réseau et que n'importe quel nœud source détermine rapidement la meilleure route vers un nœud destination.

Bien que le délai d'acheminement des paquets soit ainsi très court, l'actualisation continue de la topologie dynamique du réseau implique une diffusion massive d'informations de contrôle de la part des nœuds du réseau et donc l'utilisation constante de la bande passante.

Avantages:

- Détermination rapide du meilleur chemin.
- Court délais d'acheminement des paquets.

Inconvénients:

- Diffusion massive.
- Utilisation constante de la bande passante.

Le protocole le plus connu est : **OLSR** (Optimized Link State Routing protocol), optimisé pour limiter le trafic de contrôle par l'utilisation de relais multipoints (MPR).

3.3.2 Les protocoles réactif

Les protocoles réactifs établissent les tables de routage sur demande. Un nœud source va donc connaître la route à emprunter pour atteindre un nœud destination qu'après en avoir fait la demande.

Cela engendre la surcharge du réseau lors de l'inondation des requêtes effectuées pour répondre à la demande de route et un temps d'attente plus long surtout en cas de changement brutal de la topologie du réseau, ce qui peut arriver fréquemment dans la mesure où cette

topologie est dynamique. De plus, à cause du délai d'attente conséquent, Il peut être nécessaire de gérer la bufferisation des paquets pour éviter leur perte.

Avantage:

- Économie de la bande passante.

Inconvénients:

- Surcharge du réseau lors de la demande de route.
- Temps d'attente plus long.
- Bufférisassions des paquets nécessaire.

Le protocole le plus connu est : **AODV** (Ad hoc On Demand Distance Vector), COUGAR, ACQUIRE, etc. sont des exemples de protocoles de cette approche basées sur le routage réactif.

3.3.3 Les protocoles hybrides

Les protocoles hybrides combinent les deux approches proactive et réactive. Le principe proactif est utilisé pour le proche voisinage de chaque nœud (2 à 3 sauts). Et le principe réactif est utilisé au-delà, optimisé par ce regroupement de nœuds de proches voisins. [31]

3.4 Selon le fonctionnement du protocole

3.4.1 Routage basé sur la qualité du service

Dans les protocoles de routage base sur la QoS, le réseau doit équilibrer entre la consommation énergétique et la qualité de données. En particulier, le réseau doit satisfaire certaine métrique de QoS, par exemple : délai, réserve d'énergie, la bande passante disponible, etc. les protocoles de cette approche sont très recommandés pour la surveillance, on peut citer:

3.4.1.1 Le protocole SAR

Le protocole SAR est basé sur une approche multi-chemins géré par table qui s'efforce à réaliser l'efficacité énergétique et la tolérance aux fautes. SAR 34 crée des arbres en prenant en compte la métrique QoS, ressource énergétique sur chaque chemin et le niveau de priorité de chaque paquet. En utilisant ces arbres, des chemins multiples du Sink aux capteurs sont

formés. Un de ces chemins est choisi selon les ressources énergétiques et QoS du chemin. SAR maintient multiples chemins des nœuds au Sink.

3.4.1.2 Le protocole SPEED

Le protocole exige de chaque nœud de maintenir des informations sur ses voisins et emploie une transmission géographique pour trouver les chemins. En outre, SPEED s'efforce d'assurer une certaine vitesse pour chaque paquet dans le réseau de sorte que chaque application puisse estimer le délai bout à bout pour les paquets en divisant la distance au Sink par la vitesse du paquet avant de prendre la décision d'admission. SPEED peut éviter la congestion quand le réseau est encombré.

3.4.2 Routage basé sur les requêtes

Dans ce type de routage, un nœud génère des requêtes afin d'interroger les capteurs. Ces requêtes sont exprimées soit par un schéma valeur-attribut ou bien en utilisant un langage spécifique. Les nœuds qui détiennent les données requises doivent les envoyer au nœud demandeur à travers le chemin inverse de la requête (exemple : SPIN, Directed Diffusion, Rumor routing, COUGAR,...).

3.4.3 Routage basé sur le multi-chemin

Dans cette catégorie, les protocoles de routage utilisent des chemins multiples afin d'augmenter la performance du réseau. La fiabilité d'un protocole peut être mesurée par sa capacité à trouver des chemins alternatifs entre la source et la destination en cas de défaillance du chemin primaire (ex : SPIN, Directed diffusion, EAR ...)

3.4.4 Routage basé sur l'agrégation

L'agrégation permet de minimiser le nombre d'envois des données identiques par plusieurs nœuds voisins et de répartir le traitement de ces données au niveau de chaque nœud afin d'acheminer vers la destination finale. Un nœud agrégateur combine les données provenant de plusieurs nœuds en une information significative. Sachant qu'un calcul consomme moins d'énergie qu'une communication, on prolonge la durée de vie du système en minimisant la quantité de données transmises (ex : SPIN, Directed diffusion, SAR, Rumor routing, COUGAR, LEACH,...).

Les nœuds déployés d'une manière denses inondent le réseau par les mêmes paquets de données. Ce problème de redondance peut être résolu en employant des protocoles de routage basés sur la négociation. En échangeant des paquets de signalisation spéciales, appelés META-DATA. Ces paquets permettent de vérifier si les nœuds voisins disposent des mêmes données à transmettre [26]. Cette procédure garantit que seules les informations utiles seront transmises et élimine la redondance des données. [32]

3.4.5 Les protocoles de routage basé sur les interrogations

La collecte des informations sur l'état de l'environnement est initiée par des interrogations envoyées par le nœud " Sink ". [33]

3.4.6 Les protocoles de routage basé sur la négociation des données

Ces protocoles de routage ont traité le problème de la redondante des données. Avant de transmettre les données, les nœuds négocient entre eux les données en utilisant des messages de négociation, le résultat de cette procédure est la transmission des informations utiles ce qui prolonge la durée de vie du réseau. [34]

3.5 Selon les paradigmes de communication

Dans les RCSFs, il existe trois paradigmes de communication : centré nœud (Node centric), centré donnée (data centric) et centré position (position centric). Protocole centré nœud (node center): Dans les protocoles centrés nœud, le routage est basé sur l'identification des nœuds. Chaque source est traitée indépendamment. Chaque capteur source qui a les données appropriés répond en envoyant ses données à la station de base indépendamment de tous les autres capteurs. Ce paradigme est beaucoup plus employé dans les réseaux conventionnels, où les communications se basent sur l'identification des nœuds participants. Mais pour les RCSFS, un routage basé sur une identification individuelle des nœuds ne reflète pas l'usage réel du réseau. Pour cela, un autre paradigme a été introduit: centré donnée. Néanmoins, le paradigme centré nœud n'est pas à exclure totalement, car certaines applications nécessitent une interrogation individuelle des capteurs (ex : COUGAR, LEACH,...).

3.5.1 Protocole centré donnée (data center)

Dans les protocoles centrés donnée, le routage est effectué en fonction du contenu du paquet. Les nœuds capteurs s'intéressent uniquement à la donnée reçue sans toutefois se préoccuper du nœud qui est l'origine de cette donnée. En plus, les capteurs intermédiaires peuvent exercer une certaine forme d'agrégation sur ces données avant de les acheminer vers la station de base. Ainsi, le réseau peut être vu comme une base de données distribuées, ou les nœuds forment des tables virtuelles, alimentées par les données distribuées, ou les nœuds forment des tables virtuelles, alimentées par les données captées (ex : SPIN, Directed diffusion).

3.5.2 Protocole centré position

Dans ce paradigme, les décisions de routage sont établies selon la position des nœuds la distance entre les nœuds voisins peut être estimée sur la base de la puissance signal arrivé. Cependant, les nœuds peuvent connaître leur position grâce à un équipement GPS ou par un système de positionnement distribué. Par conséquent, ce type de mécanisme nécessite un déploiement d'une solution de positionnement, dont le degré de précision requis dépend de l'application ciblée (ex : GAF, SPEED, GEAR, SAR,...).

4 L'agrégation de données dans les RCSF

L'agrégation de données est importante dans les RCSF, est l'une des mécanismes utilisés minimiser les transmissions redondantes et donc économiser d'énergie. [35]

4.1 Taxonomie des solutions d'agrégation sécurisée dans les RCSF

Il existe deux grandes catégories de solutions selon le type de cryptage des données utilisées :

- Solutions basées sur le cryptage de bout en bout : Dans ce type de protocoles, le seul qui est capable de décrypter les données cryptées est le nœud PUIITS. Les nœuds intermédiaires sont capables seulement de faire l'agrégation.
- Solutions basées sur le cryptage de proche en proche : les données dans ces protocoles sont cryptées par les nœuds qui captent l'information (sensing nodes) et décryptées par les nœuds qui font l'agrégation. Ces derniers calculent la valeur de l'agrégation et cryptent les résultats à nouveau et en fin le nœud puits récupère les résultats de l'agrégation finale. Ces protocoles sont aussi divisés en deux catégories

selon le type du réseau sur lequel ont été déployés : soit dans une architecture plate, sans utilisation des clusters DWSN (Distributed Wireless sensor Networks). Soit dans une architecture hiérarchique HWSN (Hierarchical Wireless Sensor Networks).

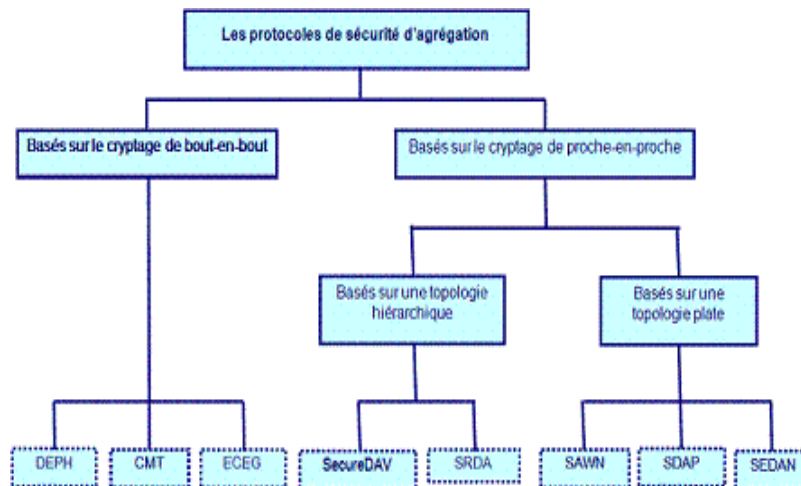


Figure2. 12 : Classification de différentes techniques d'agrégation dans les RCSFs

5 Conclusion

L'objectif primordial des concepteurs des réseaux de capteurs sans fil est l'augmentation de la durée de vie de ce type de réseaux, c'est pour cela que la communauté scientifique active beaucoup dans l'amélioration des protocoles de communication pour les réseaux de capteurs sans fil afin de prolonger leur durée de vie. Dans ce chapitre on a présenté l'état de l'art des protocoles de routage dans les RCSFs et leur classification et nous l'avons classifiés selon cinq catégories : la structure du réseau, le type d'application, le mode de transmission, le fonctionnement de protocole, paradigme de communication. Nous avons également mentionné un certain nombre d'algorithmes connus qui essaient de résoudre la problématique liée à la consommation d'énergie.

Dans le chapitre suivant nous allons présenter en détail le routage hiérarchique dans les réseaux de capteurs sans fils et en se focalisant sur le protocole EDEEC.



**Chapitre 3 : le routage hiérarchique
dans les réseaux de capteurs sans fil**

1 Introduction

La majorité des travaux de recherche menés actuellement dans le domaine des réseaux de capteurs sans fils se concentrent généralement sur le problème de conservation d'énergie. Le développement d'une technique efficace permettant d'économiser la ressource énergétique est un objectif primordial pour les réseaux de capteurs sans fil. L'une des techniques les plus adaptées aux RCSFs est la classe de routage hiérarchique qui englobe les solutions qui adoptent une restructuration du réseau physique en un système de hiérarchie logique visant l'optimisation de la consommation de l'énergie et le passage à l'échelle.

Dans ce chapitre nous allons étudier la problématique du routage hiérarchique dans les RCSFS, en se focalisant sur les protocoles suivant : DEEC (Distributed Energy Efficiency Clustering) et EDEEC («Enhanced Distributed Energy Efficiency Clustering Scheme for WSN hétérogène) qui est une version étendue de DEEC.

2 Le routage hiérarchique

Le plus favorable pour l'utilisation efficace d'énergie est le routage hiérarchique. Ce genre de protocole utilise la méthode de clustering en se chargeant généralement d'établir des cluster heads (CHs) et de définir la manière selon laquelle les nœuds décident quel CH rejoindre. Le principe est de router les données récoltées par chaque nœud du cluster jusqu'au chef (Cluster Head), qui effectue des traitements sur les données récoltées et les transmet à la prochaine destination. Si le CH ne peut pas atteindre directement la station de base, les informations seront routées vers le prochain CH. L'avantage est la réduction des coûts en communication et en énergie en minimisant le nombre de messages circulant sur le réseau, étant donné que les CHs appliquent des fonctions d'agrégat sur les données du cluster ce qui permet de les combiner. L'inconvénient concerne la taille du réseau. En outre, quand la taille du réseau augmente, le processus d'élection du Cluster Head devient critique et gourmand en ressources.

3 Caractéristiques des protocoles hiérarchiques

3.1 Le clustering

Le clustering est une technique pour partitionner le réseau en groupes (Clusters) plus homogènes selon une métrique spécifique ou une combinaison de métriques, et former une topologie virtuelle.

Chaque groupe est désigné un leader (Cluster-Head) qui communique avec les membres de son groupe et les cluster Heads des autres groupes, d'agrèger leurs données collectées et de les transmettre à la station de base.

Donc, la technique de clustering contribue énormément à l'économie de l'énergie, à la réduction de la complexité des protocoles de routage et à la résistance au facteur d'échelle, en plus de l'agrégation de données qui permet d'éliminer redondance de données et de n'envoyer que les informations utiles. [36]

3.2 Cluster

Dans les protocoles de routage hiérarchique, le cluster (regroupement) est un ensemble de nœuds qui forme l'unité d'organisation d'un réseau de capteur, la nature dense des réseaux exige la décomposition en cellules afin de simplifier les tâches de communication et répondre aux différentes contraintes. [36]

3.3 Cluster-Head

C'est un nœud élu au sein du cluster dont le but est de centraliser les communications issues des différents nœuds membres du groupe et de les acheminer vers la BS. Il représente le chef du groupe surnommé aussi le leader, il est élu par les autres nœuds ou bien pré-assigné par le concepteur de réseau. Un CH collecte les données des nœuds au sein du cluster et les transfère vers la destination (Base station). [36][37]

3.4 Station de base

Elle se situe au niveau supérieur de la hiérarchique d'un réseau de capteur, elle fournit une connexion entre le réseau et l'utilisateur final. [36]

3.5 L'élection des CHs

Dans cette phase, chaque nœud envoie un message aux nœuds voisins. Ce message inclut l'ID du nœud et son poids. Lorsqu'un nœud reçoit un nombre prédéfini (N_p) de paquets de messages, il compare tous les poids reçus, le nœud avec le poids le plus élevé sera annoncé comme Cluster Head(CH). Un CH défaillant peut provoquer un cluster pour rester isolé jusqu'au prochain re-clustering. Pendant ce temps, les données importantes des nœuds mobiles ne peuvent pas être signalées et peuvent être perdues. Pour éviter ce problème, un cluster Head secondaire (SCH) est également élu en fonction du poids le plus élevé suivant. Le SCH stocke les informations de routage et de cluster de sauvegarde. [38]

3.6 Communication inter-cluster

Les clusters Head peut communiquer avec la base station soit directement, soit en multi-saut (deux ou plusieurs) via des nœuds Gateway. Ces derniers peuvent être des clusters Head ou des clusters membres. La communication multi-sauts permet de réduire la consommation d'énergie et d'augmenter la scalabilité du réseau.

3.7 Communication intra-cluster

C'est la communication des nœuds capteurs et du Cluster Head élu au sein du cluster. Il peut s'agir d'un seul saut qui dépend de la distance entre le nœud et le CH ou de plusieurs sauts qui sont généralement utilisés dans les réseaux à grande échelle.

- Nombre de clusters : il s'agit d'un paramètre clé concernant l'efficacité de l'algorithme de clustering, qui varie en fonction de la taille du réseau.

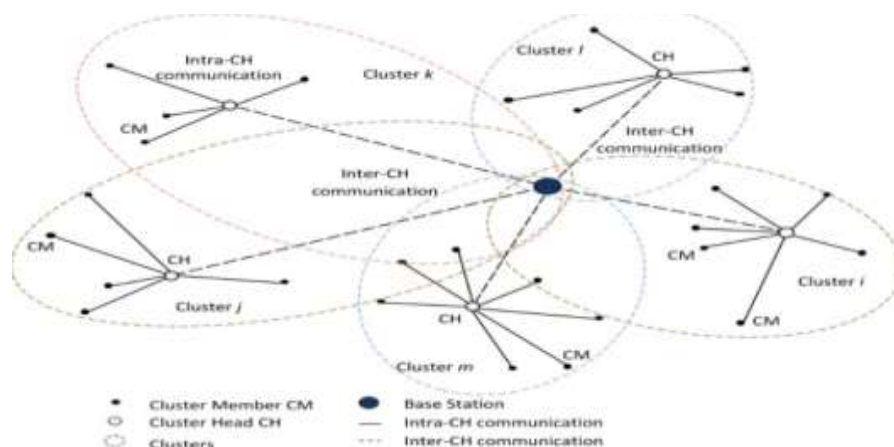


Figure3.13:Communication Inter-CH et Intra-CH

4 DEEC (Distributed Energy Efficient Clustering)

Distributed Energy Efficient Clustering (DEEC) est l'un des protocoles de routage hiérarchique basés sur les clusters qui est utilisé pour les réseaux hétérogènes.

Li Qing, Qingxin Zhu et Mingwen Wang [39], ont proposé la conception d'un algorithme de clustering distribué économe en énergie pour les réseaux de capteurs sans fil hétérogènes. Dans le protocole DEEC, l'élection du cluster head s'effectue en tenant compte de la probabilité du rapport de l'énergie résiduelle de chaque nœud et l'énergie moyenne du réseau. Le seuil de probabilité est utilisé pour élire le cluster head. Les nœuds avec une énergie initiale et résiduelle plus élevées auront plus de chance d'être élus cluster-Head que les autres (ceux ayant une énergie plus basse). Il atteint de meilleurs résultats dans un environnement hétérogène. DEEC est une variante du protocole LEACH qui convient à la fois pour les WSN homogènes et hétérogènes. La sélection du CH est basée sur le rapport de l'énergie initiale et l'énergie résiduelle. Pour contrôler la sortie d'énergie des nœuds, DEEC utilise l'énergie de référence et calcule la moyenne de l'énergie du réseau en utilisant l'énergie de référence.

Le nombre de tours (rounds) de l'époque tournante pour chaque nœud est différent selon son énergie initiale et son énergie résiduelle, c'est-à-dire que DEEC adapte l'époque de rotation de chaque nœud à son énergie. Les nœuds à haute énergie initiale et résiduelle auront plus de chances d'être élus chefs de cluster que les nœuds à faible énergie.

Les simulations montrent que DEEC atteint une durée de vie du réseau satisfaisante comparé aux autres algorithmes de clustering classiques hétérogènes. De plus, DEEC peut être également adapté aux réseaux multi niveaux.

Dans le protocole DEEC, tous les nœuds utilisent les niveaux d'énergie initial et résiduel pour définir les cluster head. DEEC estime la valeur idéale de durée de vie du réseau pour calculer l'énergie de référence que chaque nœud devrait dépenser à chaque tour. Dans un réseau hétérogène à deux niveaux, on va avoir deux catégories de nœuds : $m.N$ nœuds avancés d'énergie initiale est égale à $E_0.(1+a)$ et $(1 -m).N$ nœuds normaux, où l'énergie initiale est égal à E_0 . Où a et m sont deux variables qui contrôlent les types de pourcentage de nœuds (avancés ou normaux) . L'énergie initiale totale dans le réseau est E_{total} .

N étant le nombre total de nœuds dans le réseau, le nombre

$$N = N_{nml} + N_{adv} = N(1 - m) + Nm \quad (0 < m < 1) \quad (3.1)$$

Où N_{nml} désigne le nombre de noeuds normaux et N_{adv} le nombre de noeuds avancés.

$$E_{nml} = N_{nml}E_0$$

$$E_{adv} = N_{adv}E_0 + aN_{adv}E_0$$

- L'énergie initiale totale est donnée par l'équation (3.2)

$$\begin{aligned} E_{totale} &= E_{nml} + E_{adv} = N(1 - m)E_0 + Nm(E_0 + aE_0) = NE_0(1 - m + m + ma) \\ &= NE_0(1 + ma) \quad (\text{a facteur } > 1) \end{aligned} \quad (3.2)$$

- L'énergie moyenne au r^{th} round est définie comme suit :

$$E_{avg} = \frac{1}{N} E_{totale} \left(1 - \frac{r}{R}\right) \quad (3.3)$$

R désigne le nombre total de tours de la durée de vie du réseau et est défini comme suit :

$$R = \frac{E_{totale}}{E_{Round}}$$

- E_{Round} représente l'énergie totale dissipée dans le réseau pendant un tour et est égal à :

$$E_{Round} = 2NE_{elec} + NEDA + kEmpd^4 \text{ toBS} + NEfsd^2 \text{ toCH}$$

k : nombre de clusters.

EDA : coût d'agrégation des données dépensé dans la tête de grappe.

dtoBS : distance moyenne entre la tête de cluster et la station de base.

dtoCH : distance moyenne entre le cluster membre et le chef de groupe.

- Parce que nous supposons que les noeuds sont uniformément distribués, on obtient :

$$\text{dtoCH} = \frac{M}{\sqrt{2k\pi}}$$

$$\text{dtoBS} = \frac{0.765M}{2}$$

Avantages :

- DEEC n'exige aucune connaissance de l'énergie à chaque élection round.

- Contrairement à SEP et LEACH DEEC peut bien performer en multi-niveaux hétérogène réseau sans fil.

Limites :

- Les nœuds avancés pénalisent toujours dans le DEEC, en particulier lorsque leur résiduel énergie réduite et devenir dans la gamme des nœuds normaux. Dans cette position, les nœuds avancés meurent plus rapidement que les autres.

4.1 Caractéristiques de DEEC

- La sélection des chefs de cluster dans le DEEC se fait uniquement sur la base de la probabilité qui lui est attribuée. La probabilité peut être supérieure à 0,5, ce qui dans la sélection de la tête de cluster.
- L'énergie limitée associée au nœud de capteur sans fil et sa durée de vie dépend du nombre de paquets qu'il a traités et durée de vie pendant laquelle il est allumé.
- DEEC est une avancée de LEACH dans laquelle à chaque tour plusieurs chefs de cluster sont sélectionnés et donc l'équilibrage de charge est atteint.
- Les protocoles hétérogènes à deux niveaux sont pris en charge par l'application de DEEC.
- Le clustering hiérarchique avec un fonctionnement à plusieurs niveaux avec le niveau 0 à N est pris en charge avec ce protocole.
- Dans DEEC, chacun des hubs doit avoir une idée de la vitalité et des informations durables. Les nœuds ont l'initiale
- l'énergie qui leur est associée et cette énergie est appelée énergie de référence utilisée au sein du réseau pour vérifier la tête de cluster, construction. [40]

5 EDEEC (Enhanced Distributed Energy Efficiency Clustering)

Parul Saini , Ajay.K. Sharma [41] dans ont proposé EDEEC (Enhanced Distributed Energy Efficiency Clustering Scheme for WSN hétérogène). Pour trois types des nœuds, ils ont proposé EDEEC pour prolonger la durée de vie et la stabilité de réseau. Ce protocole augmente donc l'hétérogénéité et le niveau d'énergie du réseau. , il s'agit d'une version étendue de DEEC avec une classification normale, avancée et super nœud sur la base de l'énergie du nœud, EDEEC suit les idées de DEEC et ajoute un autre type de nœud appelé Super nœud pour améliorer l'hétérogénéité. [42]

5.1 Modèle de réseaux hétérogènes

Supposons qu'il y ait N nœuds capteurs, qui sont uniformément répartis dans une surface carrée $M \times M$.

EDEEC considère trois types de nœuds capteurs avec différents niveaux d'énergie, c'est-à-dire nœuds normaux, nœuds avancés, super nœuds. Les nœuds normaux ont de l'énergie E_o . Soit m la fraction des nœuds avancés ont parfois plus d'énergie que les nœuds normaux, c'est-à-dire $E_o(1+a)$ tandis que m_o est le pourcentage du total nombre de nœuds n ont b fois plus d'énergie que la normale des nœuds appelés super nœuds, c'est-à-dire $E_o(1+b)$. Comme N est le total nombre de nœuds dans le réseau, puis Nm , Nm_o et $N(1-m)$ est le nombre de super, avancé et normal nœuds du réseau, respectivement.

- L'énergie initiale totale des super nœuds dans WSN :

$$E_{super} = Nmm_oE_o(1+b)$$

- L'énergie initiale totale des nœuds avancés dans WSN :

$$E_{avancé} = Nm(1-m_o)E_o(1+a)$$

- L'énergie initiale totale des nœuds normaux dans WSN :

$$E_{normal} = N(1-m)E_o$$

- L'énergie initiale totale des WSN hétérogènes à trois niveaux est calculée comme suit:

$$E_{total} = E_{super} + E_{avancé} + E_{normal}$$

$$E_{total} = Nmm_oE_o(1+b) + Nm(1-m_o)E_o(1+a) + N(1-m)E_o$$

$$E_{total} = NE_o[1+m(a+m_o(b-a))]$$

Le WSN hétérogène à trois niveaux a $m(a+m_o b)$ fois plus d'énergie par rapport au WSN homogène.

EDEEC est un algorithme de clustering distribué économe en énergie pour les réseaux de capteurs sans fil hétérogènes qui est basé sur le clustering, lorsque les clusters-Head sont élus par une probabilité basée sur le rapport entre l'énergie résiduelle de chaque nœud et l'énergie moyenne du réseau. Le nombre round de la rotation de l'époque de chaque nœud est différent en fonction de sa valeur initiale et énergie résiduelle.

Les nœuds à haute énergie initiale et l'énergie résiduelle aura plus de chances d'être les chefs de cluster que les nœuds à faible énergie. Ainsi, EDEEC peut prolonger la durée de vie du réseau, en particulier la période de stabilité. Ce choix pénalise toujours les nœuds avancés, surtout quand leur énergie résiduelle s'épuise et devient dans la gamme des nœuds normaux. Dans cette situation, les nœuds avancés meurent plus rapidement que les autres. [43]

5.2 Propriétés du protocole EDEEC

Dans le réseau modèle décrit dans la section précédente quelques hypothèses sont été faites pour les nœuds capteurs ainsi que pour le réseau. D'où les hypothèses et les propriétés des nœuds du réseau et des capteurs sont :

- Les nœuds capteurs sont déployés de manière uniforme et aléatoire dans le réseau. Il y a une station de base qui est située au centre du champ de détection
- Les nœuds ont toujours les données à envoyer à la station de base.
- Tous les nœuds ont des capacités similaires en termes de traitement et de communication et d'égale importance. Ces nœuds ont toujours les données à envoyer à la station de base.
- Les nœuds capteurs ont une hétérogénéité en termes d'énergie et différents niveaux d'énergie. Tous les nœuds ont des initiales différentes d'énergie, certains nœuds sont équipés de plus d'énergie que les nœuds normaux.

6 Algorithme de simulation

1. Création d'un modèle réseau de capteur sans fil (distribution des nœuds de manière aléatoire).
2. Calculer l'énergie initial total (E_t) pour tous les types de nœuds (DEEC : deux types de nœuds : normal et avancée) (EDEEC : trois type de nœuds : normale, avancé, super)
3. Initialisation du tour ($r=1$).
4. Calculer E_r (énergie résiduelle).
5. Initialiser les nœuds vivant et morts ($alive = n$), ($mort = 0$).
6. Calculer E_a (average energy)
7. Calculer les nœuds vivants.
8. Vérifier S'il y a un nœud mort
9. Initialiser $cluster = 1$, $count CH = 0$.

10. Calculer p_i (probabilité de clusters Head) pour 3 types des nœuds.
11. Election CH
12. Calculer l'énergie dissipée.
13. Election de CH associée pour les nœuds normaux.
14. Calcule l'énergie dissipée par CH.
15. Calculer les paquets à CH
16. Calculer les paquets à BS
17. Retourner à l'étape 3

7 Organigramme de l'algorithme DEEC et EDEEC

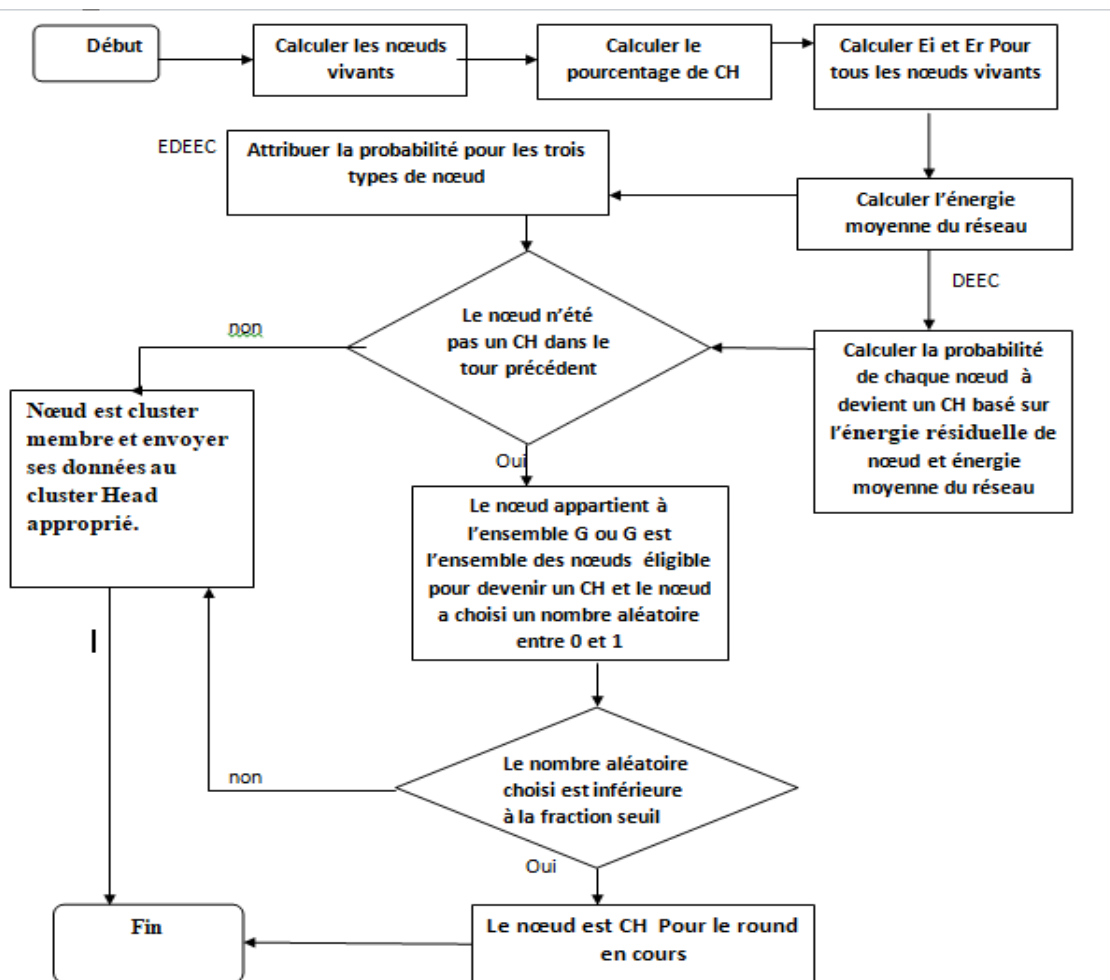


Figure 3.14:Organigramme de l'algorithme DEEC et EDEEC

8 Conclusion

Le routage hiérarchique est le plus favorable Pour l'utilisation efficace d'énergie, ils utilisent la méthode de clustering.

Dans ce chapitre, nous avons parlé du routage hiérarchique et leur caractéristique, ainsi nous avons présenté les deux protocoles hétérogènes DEEC et EDEEC, ensuite on a donné leurs organigrammes et un algorithme de simulation.

Dans le chapitre suivant nous allons présenter l'environnement de développement utilisé pour l'implémentation des protocoles DEEC et EDEEC ainsi, nous allons faire une comparaison entre eux en utilisant les résultats de simulation.



Chapitre 4 : Implémentation et résultats de simulation

1. Introduction

Dans ce chapitre nous allons présenter les outils de développement utilisés pour la réalisation de la simulation des protocoles discutés dans le chapitre précédent DEEC et EDEEC, ainsi que l'analyse des résultats des simulations obtenus lors de l'implémentation.

En dernier lieu, nous ferons une comparaison entre les protocoles hiérarchiques hétérogènes DEEC et EDEEC selon quatre métriques qui sont : Les nœuds morts pendant les tours (rounds), Les nœuds vivants pendant les tours (rounds), les paquets envoyés à BS, Les Cluster heads.

2. Environnement de développement

2.1. Matériel utilisé

Pour le développement de notre simulation, nous avons utilisé un micro-ordinateur portable ayant les caractéristiques suivantes :

- Processeur intel(R) core(TM) i3-6006U CPU @ 2.00GHz 2.00GHz
- RAM 4.00 GO
- Système d'exploitation Microsoft Windows 10.

2.2. Logiciels utilisé

2.2.1. Présentation du Matlab

Pour la phase d'installation Nous avons adopté Le logiciel Matlab qui est un logiciel de manipulation de données numériques et de programmation dont le champ d'application est essentiellement les sciences appliquées, il a été Développé par la société MathWorks.

C'est un langage de haut niveau, son objectif par rapport aux autres langages, est de simplifier au maximum la transcription en langage informatique d'un problème mathématique, en utilisant une écriture la plus proche possible du langage naturel scientifique. Ces tâches sont accomplies très rapidement par rapport à C, C++ et FORTRAN. Matlab est un logiciel interprété (donc sans phase préliminaire de compilation) qui exécute les opérations demandées séquentiellement, avec possibilité de boucle, test et saut.

Nous avons utilisé la version MATLAB 2009 qui a introduit des raccourcis clavier personnalisables et diverses opérations telles que copier/coller et lancer des rapports, etc. Les raccourcis clavier personnalisables font gagner un temps précieux. MATLAB 2009 a introduit des astuces M-Lint qui aide dans de nombreuses situations différentes, comme pour compléter les codes et signaler les erreurs. La fonctionnalité de publication de code a également été améliorée dans cette version et l'on peut désormais placer les figures où on le souhaite avec le mode de capture de figure.

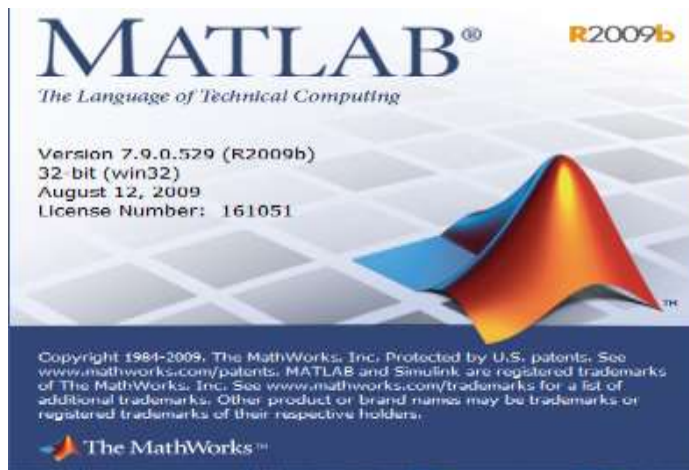
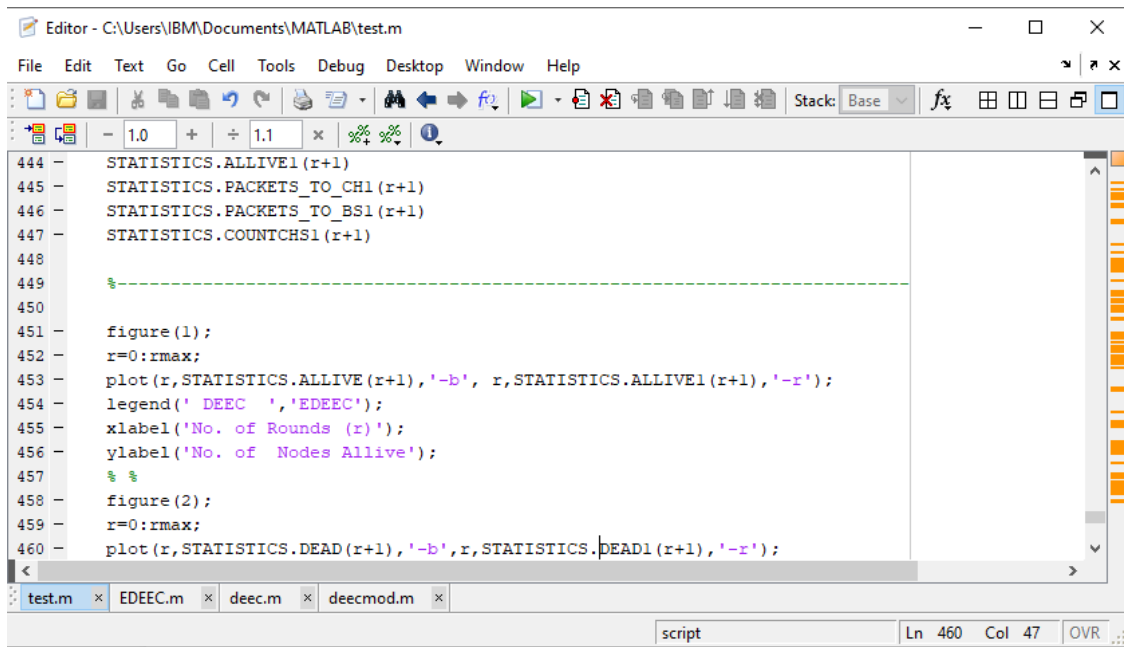


Figure 4.15 : Logo Matlab 2009

- ✓ L'éditeur matlab est l'interface qui permet d'écrire les fonctions, il peut être lancé en tapant « editNomDeFichier » dans le command Window ou en cliquant sur File »New »M-file.

La figure 4.2 montre l'éditeur de script du programme de simulation sous Matlab 2009 :



```

444 - STATISTICS.ALLLIVE1(r+1)
445 - STATISTICS.PACKETS_TO_CH1(r+1)
446 - STATISTICS.PACKETS_TO_BS1(r+1)
447 - STATISTICS.COUNTCHS1(r+1)
448 -
449 - %-----
450 -
451 - figure(1);
452 - r=0:rmax;
453 - plot(r, STATISTICS.ALLLIVE(r+1), '-b', r, STATISTICS.ALLLIVE1(r+1), '-r');
454 - legend(' DEEC ', 'EDEEC');
455 - xlabel('No. of Rounds (r)');
456 - ylabel('No. of Nodes Alive');
457 - % %
458 - figure(2);
459 - r=0:rmax;
460 - plot(r, STATISTICS.DEAD(r+1), '-b', r, STATISTICS.DEAD1(r+1), '-r');

```

Figure4.16: Editeur de script du programme de simulation sous Matlab 2009

3. Les paramètres de simulation

Nous avons simulé le réseau de capteurs sans fil dans un environnement de développement Matlab en considérant un réseau de densité de 100 nœuds déployés dans une surface carrée de (100 X 100) m².

Le tableau suivant montre les paramètres de simulation utilisés :

| Paramètre | Valeur |
|--|-----------------------------|
| Surface du réseau (xm, ym) | (100m, 100m) |
| E_0 (énergie initiale des nœuds normaux) | 0.5 J |
| E_{elec} | 50 nJ/bit |
| E_{fs} | 10 pJ/bit/m ² |
| E_{mp} | 0.013 pJ/bit/m ⁴ |
| EDA | 5 nJ/bit/signal |
| P (probabilité de CH) | 0.1 |
| N (nombre des nœuds) | 100 |
| d_0 | 70m |

Tableau 1:Les paramètres de simulation

Nous avons pris le cas suivant pour l'hétérogénéité :

Pour l'hétérogénéité three-level (EDEEC)

Cas : $m=0.5$, $m_0=0.4$, $a=1.5$, $b=3$, $c=0.02$

Pour évaluer les performances des protocoles DEEC et EDEEC, Nous évaluons nos simulations suivant quatre métriques qui sont :

- Les nœuds morts pendant les tours (rounds).
- Les nœuds vivants pendant les tours (rounds).
- Paquets envoyés à la BS (station de base).
- Les Clusters Head.

4. Les résultats de la simulation

Après exécution des programmes de simulation, nous obtenons les résultats schématisés sur les figures suivantes :

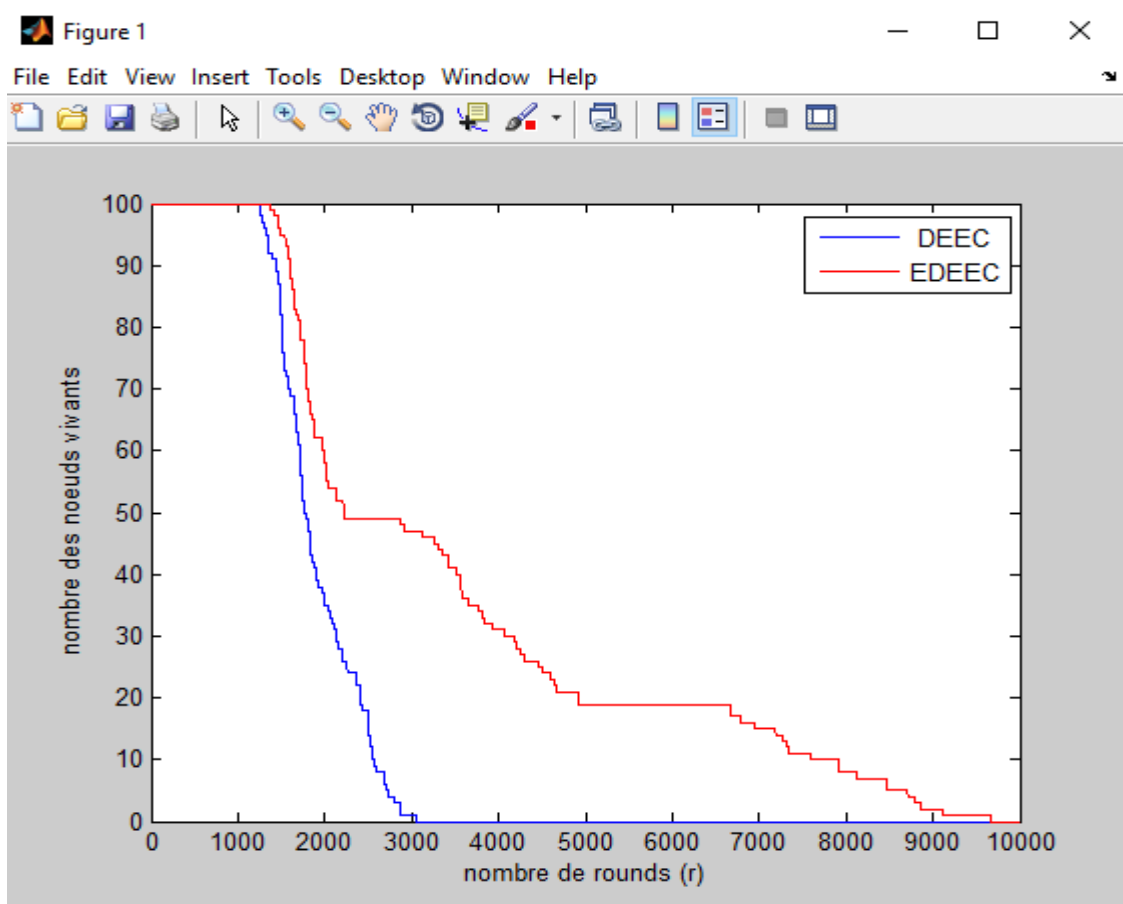


Figure 4. 17:Nœuds vivants pendant rounds

- ✓ La figure 3 présente la comparaison en termes de nombre de nœuds vivants (actifs) pendant la durée de vie de réseau, nous voyons que la période de stabilité et la durée de vie de EDEEC sont supérieures par rapport à celles de DEEC. Donc l'introduction de super nœud augmente la durée de vie de réseau.

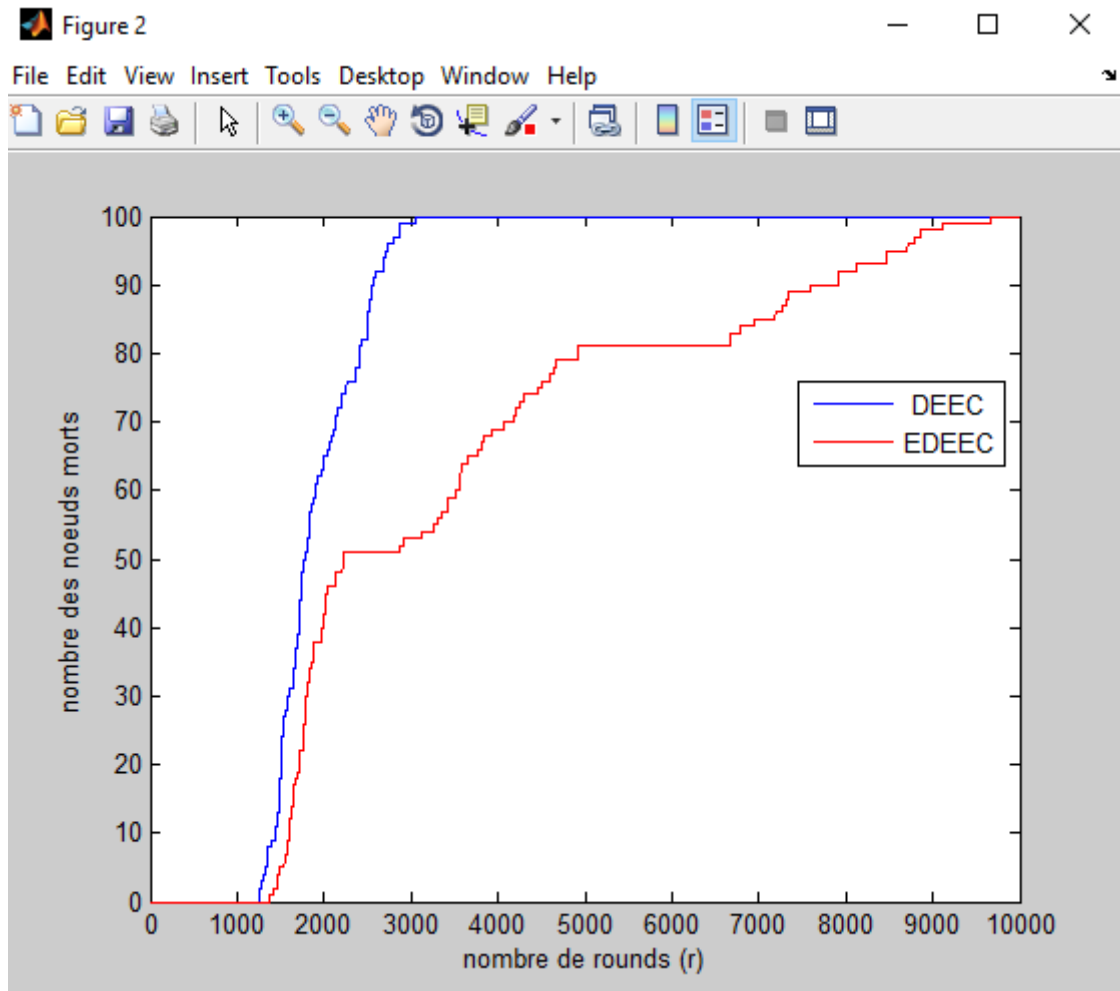


Figure 18.4:Noeuds Morts pendant rounds

- ✓ La figure 4 montre la comparaison entre les deux protocoles DEEC et EDEEC en termes de nombre des nœuds morts pendant la durée de vie de réseau, nous remarquons que dans le protocole DEEC les nœuds meurent complètement après 3000 rounds, et dans le protocole EDEEC les nœuds meurent après 10000 rounds.

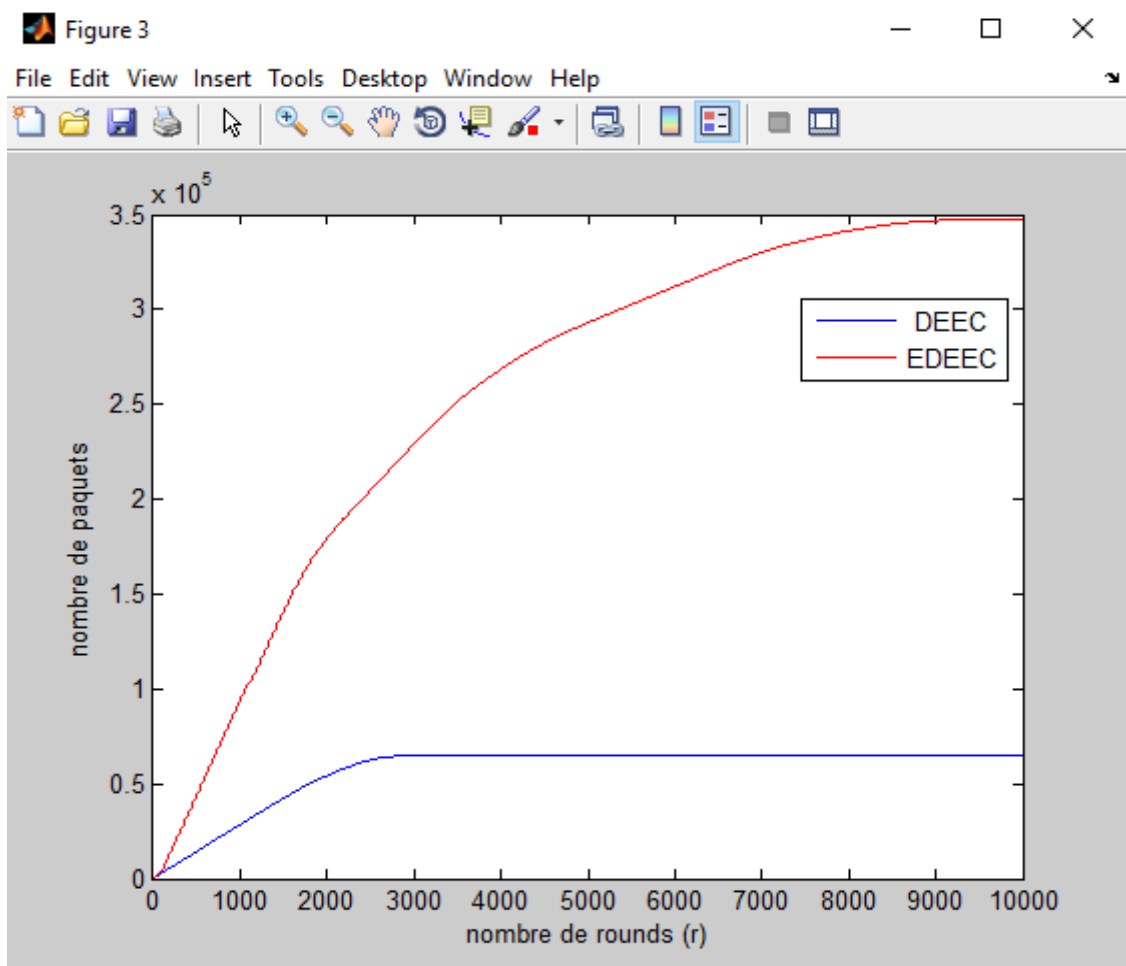


Figure 4.19: Paquets envoyé à BS pendant rounds

- ✓ La figure 5 montre la comparaison en termes de nombre de paquets de données reçus à la station de base, il est clair que EDEEC a plus de données paquets reçus à la BS par rapport à DEEC.

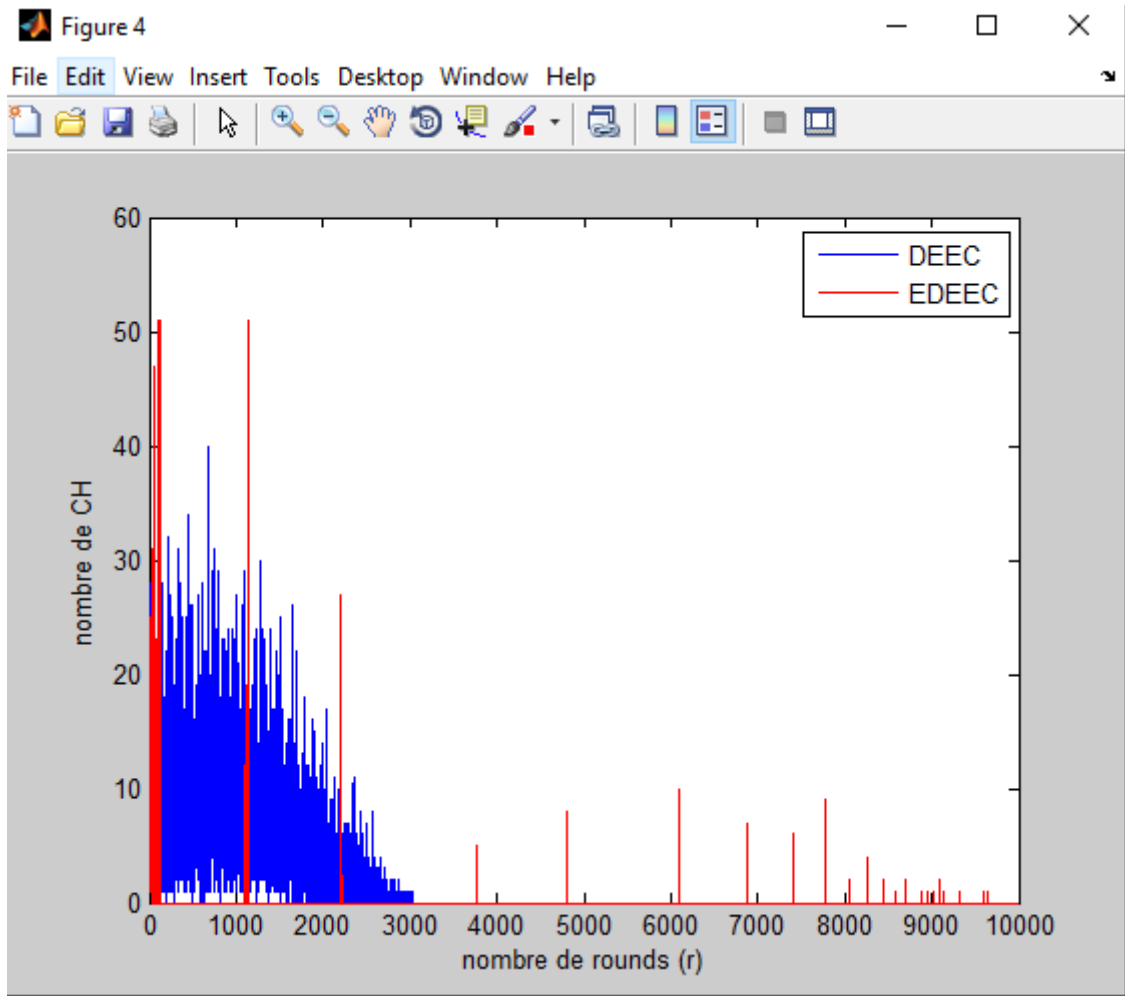


Figure4.20:CH pendant rounds

- ✓ La figure 5 montre la comparaison entre les deux protocoles DEEC et EDEEC en termes de nombre de CH pendant la durée de vie de réseau, nous remarquons que dans le protocole EDEEC le nombre des clusters Head est supérieure à celui dans le protocole DEEC.

5. Conclusion

Le réseau de capteur sans fil est une combinaison de communication sans fil et nœuds de capteurs. Le réseau doit être économe en énergie, stable et durée de vie plus longue.

Dans ce chapitre nous avons comparé les résultats de simulation des deux protocoles DEEC et EDEEC qui montre que EDEEC a de meilleurs performances par rapport à DEEC

en termes de paramètres utilisés, il prolonge la durée de vie et stabilité de réseau, il augmente donc l'hétérogénéité et le niveau d'énergie du réseau.

Conclusion générale

Les réseaux de capteurs sans fil ont connu un grand succès dès leur apparition dans tous les domaines grâce à leurs diverses fonctionnalités. Cependant, la conception de ces réseaux doit satisfaire quelques contraintes, parmi ces contraintes la réduction de la consommation d'énergie.

Dans cet objectif, le clustering est une technique qui permet au réseau de capteurs de fonctionner plus efficacement, Cette technique augmente la consommation d'énergie de réseau de capteurs et donc la durée de vie.

Dans ce travail, nous avons mené tout d'abord, une recherche sur les généralités qui entourent le domaine des réseaux de capteurs sans fil ainsi que le routage dans les RCSFs, puis nous avons présenté les protocoles de routage et leurs classifications.

En effet, nous nous sommes intéressés aux protocoles de routage hiérarchique à savoir les protocoles hétérogènes DEEC et EDEEC et ce qu'ils offrent comme optimisation de prolongement de temps de vie du réseau ainsi que la gestion efficace de la consommation d'énergie.

Nous avons simulé le fonctionnement des deux protocoles DEEC et EDEEC avec le simulateur matlab 2009 dont nous avons fait une étude comparative des résultats obtenus, qui montre que EDEEC a de meilleures performances par rapport à DEEC, il prolonge la durée de vie et stabilité de réseau, il augmente donc l'hétérogénéité et le niveau d'énergie du réseau.

Enfin, comme perspectives nous envisageons de proposer un nouvel algorithme qui fournir un meilleur rapport consommation d'énergie.

Bibliographie

- [1] F. Akyidiz, Y. Sankarasubramaniam, W.Su, and E.Cayirci. A survey on sensor networks. IEEE communication, August 2002.
- [2] M yasser ROMDHANE and M Nabil TABBEN.Evaluation des performance des protocole s-mac et directed diffusion dans les réseaux de capteur.Rapport de fin d'étude d'ingénieure,Ecole superieure de communication de Tunis,2007.
- [3] Akyildiz et al., A survey on sensor networks, IEEE Communications Magazine, vol. 40, no. 8, pp. 102-114, Août 2002.
- [5] muhammed R Ahmed, Xu hang,Dharmandrasharma ,and hongyancui ,Wirlesssenosr network characteristics and architectures.
- [6]Wirlesssenosr network characteristics and architectures /muhammed R Ahmed, Xu hang,Dharmandrasharma ,and hongyancui.
- [7] Wirlesssenosr network characteristics and architectures /muhammed R Ahmed, Xu hang,Dharmandrasharma ,and hongyancui.
- [8] Wireless senosr network characteristics and architectures muhammed R Ahmed, Xu hang, Dharmand rasharma , and hong yancui.
- [9] Yacine CHALLAL « réseau de capteur sans fil >>, support de cours, 17/11/2008.
- [10] P. Johnson and D.C Andrews,"Remote continuous monitoring in the home", Journal of Telemedicine and Telecare, Volume.2, No.2, pages 107-113, June 1996.
- [11] https://www.memoireonline.com/01/14/8592/m_Surveillance-de-tout-point-d-une-zone-d-intert--l-aide-d-un-reseau-de-capteur-multimedia-sans4.html.
- [12] Muhammad Omer Farooq and Thomas Kunz ,Article :OperatingSystems for Wireless Sensor Network.
- [13] <https://github.com/contiki-os/contiki>.

Bibliographie

- [14] Ramon SernaOliver ,IvanShcherbakov , Gerhard Fohler ,An Operating System Abstraction Layer for Portable Applications in Wireless Sensor Networks.
- [15] Muhammad Omer Farooq and Thomas Kunz ,Article :OperatingSystems for Wireless Sensor Networks: A Survey.
- [16] SOS - A Dynamic operating system for Sensor Networks Chih-Chieh Han, Ram Kumar, Roy Shea, Eddie Kohler, Mani Srivastava {simonhan@cs, ram@ee, roy@cs, eddie@cs, mbs@ee}.ucla.edu University of California, Los Angeles
- [17] I.F. Akyildiz, W. Su, Y. Sankarasubramaniam, E. Cayirci Broadband and Wireless Networking Laboratory,Wireless sensor networks: a survey School of Electrical and Computer Engineering, Georgia Institute of Technology, Atlanta, GA 30332, USA Received 12 December 2001; accepted 20 December 2001
- [18] https://moodle.utc.fr/file.php/498/SupportWeb/co/Module_RCSF_14.html
- [19] <http://mbaudin.free.fr/walkonthegrass/routage.html>
- [20] Abdallah BANANA,Vers une plate-forme efficace en énergie pour les réseaux de capteurs Université Ahmed Draia – Adrar de. Année2017/2018
- [21] yacine chelal reseau capteur sans fil ,http://moodle.utc.fr/file.php/498/supportWeb/co/Module_RCSF_60.html
- [22] Khaled BOUCHAKOUR, « Routage hiérarchique sur les réseaux de capteurs sans fil: Protocole KhLCH (K-hop Layered Clustering Hierarchy) », mémoire présenté pour l'obtention d'un diplôme de MAGISTER EN INFORMATIQUE, Ecole Doctorale, 2012.
- [23] https://www.academia.edu/6783583/wireless_sensors_networks wireless sensor network pdf.2013.2014
- [24] N Mohana Priya¹, G Brindha² ¹ PG Student, ²Assistant Professor, Meenakshi College of Engineering. A Survey on Routing Protocols in Wireless Sensor Networks. International Conference on Computer Applications ICCA 2016
- [25] Kushavaha, Roshani , Umesh Kumar Chourasiya, Mahesh , Gour, Mahesh, A Study of Power and Energy Aware Routing Technologies in Wireless Sensor Network. International Journal of Computer Science and Information Technologies,2014

Bibliographie

- [26] 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
- [27] M. Ali and S. K. Ravula, "Real-time support and energy efficiency in wireless sensor networks". Technical report, IDE0805, January 2008.
- [28] Paul MÜHLETHALER. <https://www.techniques-ingenieur.fr/base-documentaire/technologies-de-l-information-th9/reseau-internet-protocoles-multicast-routage-mpls-et-mobilite-42289210/routage-dans-les-reseaux-ad-hoc-te7520/routage-geographique-te7520niv10005.html>. auteur , 10 nov. 2004
- [29] Khaled BOUCHAKOUR, « Routage hiérarchique sur les réseaux de capteurs sans fil: Protocole KhLCH (K-hop Layered Clustering Hierarchy) », mémoire présenté pour l'obtention d'un diplôme de MAGISTER EN INFORMATIQUE, Ecole Doctorale, 2012.
- [30] https://moodle.utc.fr/file.php/498/SupportWeb/co/Module_RCSF.html
- [31] Mary douis. «www-igm.univ-mlv.fr > QoS_adhoc. » LA QUALITE DE SERVICE DANS LES RESEAUX AD HOC.19.02.2018
- [32] Kulik. J, Heinzelman,WBalakrishnan.H ,Negotiation-BasedProtocols for Disseminating Information in Wireless Sensor Networks ,Wireless Networks, Volume 8, Issue 2–3, pp 169–185, Mars 2002.
- [33] E.DHIB, " Routage avec QoS temps réel dans les réseaux de Capteurs Ingénieur en Télécommunications option : Ingénierie des réseaux, Ecole supérieure de communication de Tunis,2006/2007
- [34] W.Heizelman,J.Kulik,and H.Balakrishnan,"Adaptative protlols for information dissemination in wireless sensor networks",1999.
- [35] Réseaux de Capteurs Sans Fils, Sécurité de l'agrégation des données dans un RCSF Yacine chelal , 10 févr. 2015
- [36] Ameer ahmed abbasi and mohamed younis.a survey on clustering algorithmes of wirless senosor network ,COMPUTER COMMUNICATION 14(30) :2826-2841,2007

- [37] Sanjeev Gupta, Neeraj Jain, Poonam Sinha, Clustering protocols in wireless sensor network A survey, International Journal Applied Information System (UAIS)-ISSN :2249-0868, Foundation of Computer Science FCS, New York, USA, 02-January 2013
- [38] Gomathi K, Dr. Parvathavarthini B, An Enhanced Distributed Weighted Clustering Algorithm for Intra and Inter Cluster Routing in MANET, International Journal of Innovative Research in Computer and Communication Engineering, (An ISO 3297: 2007 Certified Organization) Vol. 2, Issue 12, December 2014
- [39] VARDHARAJULU K N, Hierarchical Routing Protocols in Wireless Sensor Networks: A Survey, International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT), ISSN :2278-0181, on 12 August 2016.
- [40] Updeep Kour^{1*}, Sandeep Sharma, Enhanced Distributed Energy Efficient Clustering Protocol: Using Priority Queue, International Journal of Computer Sciences and Engineering, E-ISSN :2347-2693, 2 Feb, 2019
- [41] Parul Saini, Ajay K. Sharma, E-DEEC- Enhanced Distributed Energy Efficient Clustering Scheme for heterogeneous WSN, 2010 1st International Conference on Parallel, Distributed and Grid Computing (PDGC - 2010)
- [42] Priya, Rashmi, EDEEC-Enhanced Distributed Energy Efficient Clustering Protocol for Heterogeneous Wireless Sensor Network (WSN), International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET), | Aug -2017
- [43] L. Qing, Q. Zhu, and M. Wang, Design of a distributed energy efficient clustering algorithm for heterogeneous wireless sensor network, Computer.
- [44] I.F. Akyildiz, W. Su, Y. Sankarasubramanian, E. Cayirci, Wireless sensor networks : a survey, Comput. Networks (Elsevier) 38 (4) (2002) 393-422.