

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieure et de la
Recherche Scientifique



Université 20 Août 1955 - Skikda
Faculté des Sciences /Département d'Informatique

Mémoire

Pour l'obtention du diplôme de master académique en informatique

Option : réseaux et systèmes distribués

Intitulé :

Proposition d'un protocole de routage des réseaux de capteurs sans fil basé sur EDEEC et la méthode d'essaim de particules.

Présenté par

BoutobzaIlhem

Cheraitidjihene

Encadré par :

Dr SalimaNebti

Co-dirigé par :

Pr. Redjimi Mohammed

Année universitaire 2021/2022

Remerciements

En préambule à ce mémoire nous remercions ALLAH qui nous aide et nous donne la patience et le courage durant ces longues années d'études.

Nous souhaitons adresser nos remerciements les plus sincères tout d'abord au corps professoral et administratif de la faculté des science pour la richesse et la qualité de leurs enseignements et qui déploient de grands efforts pour assurer à leurs étudiants une formation actualisée ainsi qu'aux personnes qui nous ont apporté leur aide et ont contribué à l'élaboration de ce mémoire et qu'à la réussite de cette formidable année universitaire

Nous tenons à remercier sincèrement le professeur " Redjimi Mohammed"

Et Docteur Salima Nebti

qui, nous ont aidé tout au long de la réalisation de ce mémoire, ainsi pour l'inspiration et le temps qu'ils ont bien voulu nous consacrer.

Dédicace

Je dédie ce modeste travail :

A mes très chers parent

Mon très cher père pour sa patience et tous ses efforts

*A ma mère pour m'avoir épaulé, encouragé à reprendre les
études et motivé dans les moments les plus difficiles*

A mes grandes-mères Rbiha et LAARKI En bon santé

A ma sœur : SOUHA ,

A mes frères: WASSIM ET HOUSSEM pour tous leur encouragements

A mon futur marie ABDESSLEM pour son

soutien, sa compréhension et ces encouragements

A toute ma famille : BOUTOBZA , ASSAM,

A mon encadreur Monsieur RedjimiMohammed .pour

*l'excellence de son accompagnement et la confiance qu'il nous a
accordé.*

*A mon binôme DJIHENE avec qui j'ai partagé de belles années
d'études et avec qui j'ai eu l'honneur de les finir.*

*A tous mes professeurs ainsi que tous les étudiants de la
promotion GL-2022, qui nous ont accueillis si généreusement et
aidés tout au long années universitaire*

A mes amies : WISSEM,

MAROUA,

RANIA,

ASSMA,SARRA,.....

Et toute personne que je connais et qui me sont chers et tous ceux qui m'aiment.

BOUTOBZA ILHEM

Dédicace

*Ce travail, et bien au-delà, je le dois à mes très chers **parents** qui m'ont fourni au quotidien un soutien et une confiance sans faille de ce fait, je ne saurais exprimer ma gratitude seulement par des mots. Que dieu vous protège et vous garde pour nous.*

*Je dédie ce travail à mes sœurs : **Ghozlene, Roumaissa** et mon petit chère frère **Bilel**.*

*C'est grâce à eux que je garde mon espoir et mon sourire, tout simplement ils font mon bonheur. A mon fiancé **Mohcene** qui m'ont donner l'espoir et le courage pour continue ce travail et qui ont fais leur impossible pour m'aider réaliser ce modeste projet.*

*A mes plus chères amies plutôt mes sœurs : **Nabila, Khadija, Imene, Assala, Choubaila, Rayen, Nedjla**.*

*A mes amies amie d'études : **Khawla, Nour** et ma binôme **ilhem**.*

A tous les amies que j'ai eu la chance d'avoir.

A tout ma grande famille: mes oncles, mes tantes et mes cousins.

Enfin un dédicace spéciale a tout mes enseignant et a tout ceux Qui m'ont aide de près au de loin pour accomplir ce travail.

Djihene cheraïti

Table de matière

1	Introduction :	15
2	Les réseaux de capteurs sans fil :.....	15
2.1	Définition :.....	15
3	Capteur sans fil	15
3.1	Définition des capteurs sans fil :	15
3.2	Architecture d'un capteur :.....	16
4	Caractéristiques du capteur :	18
5	Réseau de capteur sans fil :	18
5.1	Définition :.....	18
5.2	Architecture d'un réseau de capteur sans fil :.....	18
5.3	Architecture protocolaire :	21
5.3.1	Modèle en couches :	21
5.3.2	Rôle de chaque couche :.....	22
6	Les niveaux de gestion dans RCSF :	23
7	Les caractéristiques des RCSF:	24
8	Les topologies utilisées dans les réseaux de capteur sans fil :.....	25
8.1	La topologie en étoile :.....	25
8.2	La topologie en grille (Mesh Network) :	26
8.3	La topologie hybride Une topologie hybride :.....	26
9	Le modèle de consommation d'énergie dans les RCSF :.....	26
9.1	Energie de communication :.....	26
9.2	Energie de capture :	27
9.3	Energie de traitement :	27
10	Domaines d'applications des RCSF :	28
10.1	Applications militaires :.....	28
10.2	Application à la surveillance :	28
10.3	Application environnementale :	29
10.4	Applications médicales :	29
10.5	Les applications domestiques:.....	30

10.6 Applications commerciales :	31
10.7 Applications dans le domaine sportif :	31
11 Conclusion:	32
1 Introduction :	34
2 Définition de routage :	34
3 Définition de protocole :	35
4 Contraintes de routage dans les réseaux de capteurs sans fil :	35
5 Les critères de performance des protocoles de routage en RCSF :	36
6 Classification des protocoles de routage :	37
6.1 Classification selon la topologie (structure) du réseau :	37
6.1.1 Topologie plate (Flat Routing) :	37
6.1.2 Topologie hiérarchique :	38
6.1.3 Les protocoles de routage basés sur la localisation :	40
6.2 Classification selon les paradigmes de communication :	42
6.2.1 Centré-nœuds (Node-centric) :	43
6.2.2 Centré-données (Data-centric) :	43
6.3 Classification selon le mode de fonctionnement du protocole :	45
6.3.1 Routage basé sur multi-chemins :	46
6.3.2 Routage basé sur requêtes :	46
6.3.3 Routage basé sur la qualité de service :	46
6.4 Selon le mode l'établissement des chemins :	46
6.4.1 Les protocoles proactifs :	46
6.4.2 Les protocoles réactifs :	47
6.4.3 Protocoles hybrides :	48
7 Conclusion:	48
1 Introduction :	51
2 Le protocole LEACH :	51
2.1 La phase de construction (setup phase) :	51
2.2 L'étape de sélection des CHs :	52
3 Le protocole LEACH centralisé (C-LEACH):	52
4 Le protocole EDEEC:	53

5	Le modèle énergétique :	54
6	L'optimisation par essaim de particules :	55
7	L'algorithme PSO en pseudo code	56
8	L'optimisation par essaim de particules binaires (BPSO).....	57
9	La sélection de CHs basée sur PSO binaire :	58
10	Représentation des particules :	58
11	La fonction objective :	59
12	Conclusion :	59
1	Introduction :	61
2	Résultats expérimentaux et discussion	61
3	Présentation du logiciel MATLAB.....	61
4	Conclusion :	66
5	Conclusion générale.....	68
6	Bibliographie	69

Liste des Figure

Chapitre 01 : Généralités Sur les Réseaux De Capteurs Sans Fils

Figure 1.1 : Capteur sans fil [8].....	16
Figure 1. 2 : Architecture d'un capteur sans fil.....	17
Figure 1. 3 : Architecture typique d'un RCSF [13].....	19
Figure 1. 4 : Architecture de communication d'un RCSF [12].....	19
Figure 1. 5 : Collecte d'informations à la demande [14].....	20
Figure 1. 6 : Collecte d'informations suite à un événement [14]	21
Figure 1. 7 : Modèle en couches pour la communication dans les RCSF	22
Figure 1. 8 : Un service militaire utilisant les RCSF.....	28
Figure 1. 9 :la surveillance des bâtiments avec les RCSF	29
Figure 1. 10 : application des RCSF en médecine.....	30
Figure 1. 11 : utilisation des capteurs d'anti-intrusion avec RCSF.....	30
Figure 1. 12 : Capteurs utilisés dans le domaine sportif.....	31

Chapitre 02 : Le Routage Dans Les RCSFs

Figure2. 1 : Les principaux protocoles de routages dans les RCSF [27]	37
Figure2. 2 : Topologie plate	38
Figure2. 3 : Routage hiérarchique	39
Figure2. 4 : Illustration du protocole PEGASIS.....	40
Figure2. 5 : Transitions des états dans GAF	42
Figure2. 6 : Le protocole SPIN.....	44
Figure2. 7 : Fonctionnement du protocole DD.....	45

Chapitre 3 :Proposition d'un protocole de routage basé sur EDEEC et la méthode d'essaim de particules

Figure 3. 1: Modèle de consommation d'énergie pour la communication [18].	55
---	----

Chapitre 4 : Simulation et interprétation des résultats

Figure4. 1 : Courbes comparatives (CLEACH, EDEEC& BPSO-EDEEC) 65

Liste des tableaux

Tableau 1 : paramètres du réseau..... 62

Tableau 2 : paramètres du BPSO..... 63

Tableau 3 : les données numériques correspondantes aux courbes BPSO-
EDEEC de la figure.4.1 65

Tableau 4: les données numériques correspondantes aux courbes EDEEC de la
figure.4.1..... 66

Tableau 5: Les données numériques correspondantes aux courbes CLEACH de
la figure.4.1 66

Résumé

L'efficacité énergétique des nœuds de capteurs a toujours été le principal domaine de recherche des chercheurs pour améliorer la longévité du réseau. De nombreux protocoles de routage ont été proposés jusqu'à présent dans la même direction. Cependant, l'acquisition des performances optimales du protocole de routage est un problème NP-difficile. Par conséquent, dans ce travail, pour réaliser un routage optimisé, l'algorithme d'optimisation par essaim de particules a été utilisé pour aider à la sélection optimisée des cluster-chefs (CH) dans réseau hétérogène à trois niveaux d'énergie comme EDEEC. La stratégie proposée est appelée BPSO-EDEEC dans le sens que l'initialisation des nœuds et la phase de communication de ce protocole sont identiques à ceux du protocole EDEEC. La sélection de CHs dans ce travail intègre l'énergie résiduelle du nœud ainsi que l'énergie résiduelle moyenne du rth round du réseau. La simulation de BPSO-EDEEC est effectuée dans MATLAB et l'évaluation de ses performances est effectuée par comparaison à EDEEC et CLEACH. Il est observé que BPSO-EDEEC surpasse ces deux protocoles en termes de la conservation d'énergie, la durée de vie du réseau et le nombre de paquets délivrés à la station de base.

Abstract

The energy efficiency of sensor nodes has always been the main area of research for researchers to improve network longevity. Many routing protocols have been proposed so far in the same direction. However, acquiring the optimal performance of the routing protocol is an NP-hard problem. Therefore, in this work, to realize optimized routing, the particle swarm optimization algorithm was used to help optimizing selection of cluster-leaders (CH) in a heterogeneous network with three energy levels like EDEEC . The proposed strategy is called BPSO-EDEEC in the sense that the initialization of the nodes and the communication phase of this protocol are identical to those of the EDEEC protocol. The selection of CHs in this work integrates the residual energy of the node as well as the average residual energy of the r th round of the network. The simulation of BPSO-EDEEC is performed in MATLAB and the evaluation of its performance performed by comparison to EDEEC and CLEACH. It is observed that BPSO-EDEEC outperforms these two protocols in terms of energy conservation, network lifetime and number of packets delivered to the base station.

Introduction générale

L'avancée des MEMS (micro électromécanique systèmes) a conduit au développement de systèmes de détection de petite taille dispositifs qui possèdent non seulement les capacités de communiquer mais aussi, ils sont efficaces en termes de calcul [1]. Ces nœuds sont sensibles aux dommages matériels cependant ils sont déployés dans une structure robuste qui cesse de fonctionner lorsque leurs batteries sont épuisées. UN réseau de capteur sans fil (RCSF) se compose d'un grand nombre de nœuds déployés sur un zone spécifique où l'environnement à surveiller [2].

Comme nous le savons, la principale préoccupation d'un RCSF est la consommation de l'énergie de la batterie puisque les batteries des nœuds capteurs ne peuvent pas être remplacées une fois qu'ils sont complètement épuisés [3]. Par conséquent, la communication entre les nœuds capteurs doit être suffisamment efficace pour que les paquets de donnée entre les nœuds de capteurs puissent être acheminés efficacement. Les techniques de routage ont trois classes ; routage à plat ; routage hiérarchique et géo localisé [4]. Dans ce travail, la hiérarchie dans le routage est prise en compte. Un tel routage traite le clustering des nœuds capteurs. Le routage hiérarchique est plus équilibré que tout autre routage régimes. La consommation d'énergie dans ce routage est moins par rapport à toute autre technique. Le clustering est suivi d'un routage hiérarchique qui aide à créer des clusters de différentes tailles où un nœud est sélectionné en tant que CH et d'autres nœuds agissent en tant que membres de cluster [3].

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

- Dans le premier chapitre, nous définissons les réseaux de capteurs sans fils, leur architecture, les défis liées à ce type de réseau et leurs domaines d'application.

- Dans le deuxième chapitre, nous étudions le routage dans les réseaux de capteurs sans fil. Dans ce chapitre, nous présentons les protocoles de routage les plus connus dans les réseaux de capteurs.
- Dans le troisième chapitre, nous détaillons les protocoles de routage LEACH, CLEACH et EDEEC. Nous détaillons ensuite la plateforme de simulation et les étapes d'implémentation de nos protocoles, pour passer à la comparaison des résultats de simulation.

Chapitre 1 :
Généralités Sur les
Réseaux De Capteurs
Sans Fils

1 Introduction :

Les réseaux de capteurs sans fil sont devenus un vaste domaine de recherche ces dernières années, pour la large couverture d'applications qu'ils ont fournie à la communauté des chercheurs et aux êtres humains un grand intérêt pour la communauté scientifique, pour les diverses applications qu'elle peut apporter dans différents domaines, tels que la surveillance des océans, la prévention des catastrophes, la navigation assistée, la détection des mines et la collecte de données océanographiques [5].

Ce chapitre représente des généralités sur les réseaux de capteurs sans fil, leur définition, leurs composant et architectures ainsi que leurs domaines d'applications

2 Les réseaux de capteurs sans fil :

2.1 Définition :

Un RCSF (Wireless sensor network en anglais) est un réseau informatique qui connecte un nombre d'hôtes ou nœuds par des ondes radios. Les RCSFs sont également compatible avec les réseaux câblés qui permettent de les intégrer comme extension [6].

3 Capteur sans fil

3.1 Définition des capteurs sans fil :

Un capteur sans fil est un dispositif électronique de petite taille avec batterie limitées, autonomes, capable de mesurer des grandeurs physiques à partir de l'environnement de son déploiement (ex. température, luminosité, pression, humidité, vibration,... etc.) qui seront transformé en des données numériques pour les transmettre, via les ondes radio sur des distances limitée de quelques mètres [7].

La figure 1.1 montre un exemple d'un capteur sans fil.



Figure 1.1 : Capteur sans fil [8]

3.2 Architecture d'un capteur :

Un capteur est composé d'une partie logicielle et d'une partie matérielle. Chacune des deux parties ayant une architecture propre à elle.

- **Architecture matérielle :**

La figure 1.2 est l'illustration la plus générale de l'architecture d'un capteur [9] [8].

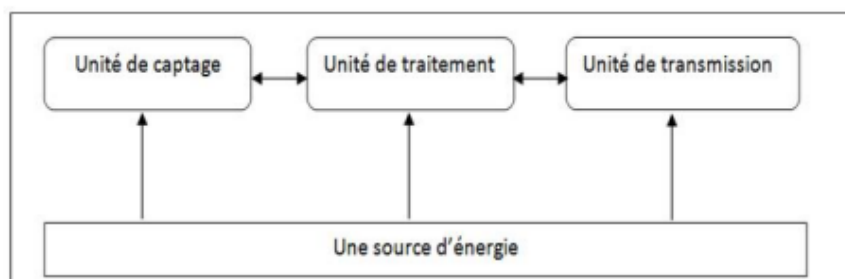


Figure 1. 2 : Architecture d'un capteur sans fil.

L'architecture matérielle d'un capteur est composée de quatre unités :

➤ **Unité de captage :**

Elle est composée d'un capteur qui détecte des mesures physiques à partir de son environnement et d'un convertisseur Analogique/Numérique et qui sert à la conversion de l'information relevée en numérique pour la transmettre à l'unité de traitement,

➤ **Unité du traitement :**

Elle est composée d'un processeur et d'un système d'exploitation pour les réseaux sans fil. Son rôle est d'acquérir les informations en provenance de l'unité d'acquisition et de les transmettre à l'unité de communication,

➤ **Unité de communication :**

Elle est responsable de toutes les émissions et réceptions des données via un support de communication radio,

➤ **Unité d'alimentation :**

Son rôle est l'alimentation toutes les unités du capteur. Cette unité peut se recharger d'énergie à partir des cellules solaires, afin d'étendre la durée de vie du capteur.

• **Architecture logicielle :**

La partie logicielle contient le système d'exploitation du capteur. TinyOS est un exemple de système d'exploitation des réseaux de capteurs, il est léger et libre être exploité dans le développement et le test des protocoles réseau [9].

Il existe plusieurs autres systèmes d'exploitation développés pour les réseaux de capteurs sans fil tels que Contiki, MantiOS, et LiteOS ;

4 Caractéristiques du capteur :

Un capteur est caractérisé par plusieurs aspects selon [9], nous citons :

- **Etendue de mesure** : la différence entre la limite supérieure et la limite inférieure de la grandeur mesurable par un capteur.
- **Sensibilité** : variation du signal de sortie par rapport à la variation du signal d'entrée.
- **Précision** : l'aptitude d'un capteur à donner des indications proches de la valeur vraie de la grandeur mesurée.
- **Rapidité** : temps de réponse du capteur.
- **Linéarité** : représente l'écart de sensibilité sur l'étendue de mesure.

5 Réseau de capteur sans fil :

5.1 Définition :

Un réseau de capteur sans fil est un type particulier des réseaux Ad hoc avec un plus grand nombre de nœuds, qui est capable de recueillir et de transmettre des données d'une façon autonome [10].

5.2 Architecture d'un réseau de capteur sans fil :

Dans un réseau de capteurs, les nœuds sont déployés, d'une façon aléatoire ou prédéterminée dans une région d'intérêt pour capturer des mesures physiques, éventuellement de les traiter et puis de les transmettre via un chemin multi-sauts, à un ou plusieurs nœuds puits (en anglais sink).

Les nœuds puits sont souvent plus puissants que les nœuds normaux. Ils pourraient être des PDA, des ordinateurs portables ou de bureau comme ils peuvent être stationnaires ou mobiles. Un nœud puits peut soit traiter localement les données reçus, soit les envoyer à une station de base via internet ou satellite comme illustré dans les Figure 1.3& 1.4 suivantes [11], [12]

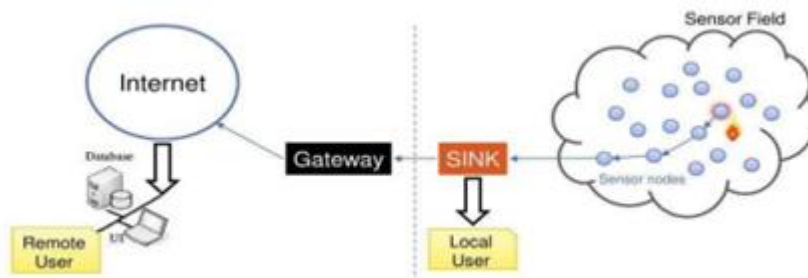


Figure 1. 3 : Architecture typique d'un RCSF [13]

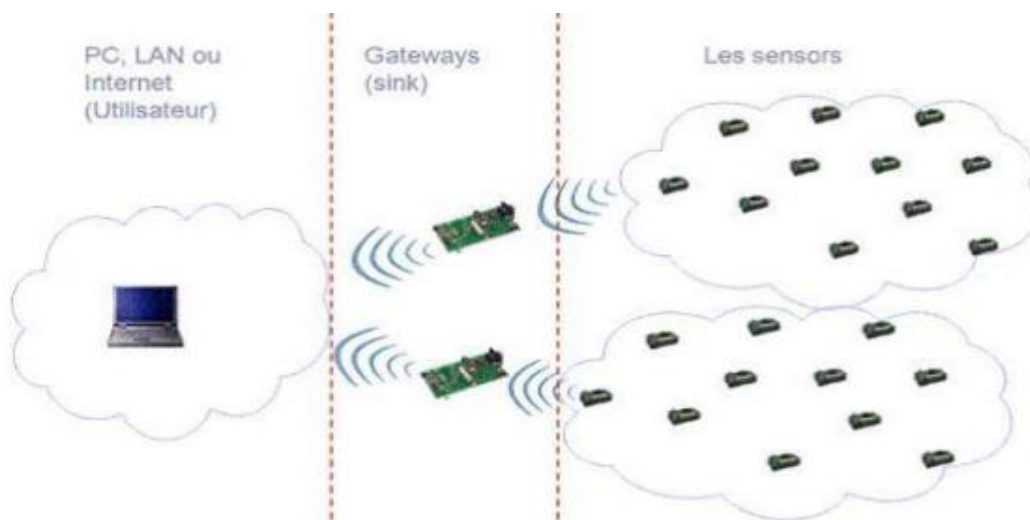


Figure 1. 4 : Architecture de communication d'un RCSF [12]

➤ **Collecte d'informations :**

Il existe deux façons de collecte d'informations d'un réseau de capteurs

✓ **À la demande**

Lorsque l'on souhaite avoir l'état de la zone de couverture à un moment T, le puits émet des broadcasts vers toute la zone pour que les capteurs remontent leur dernier relevé vers le puits.

La Figure I.5 explique ce mode de communication. [14]

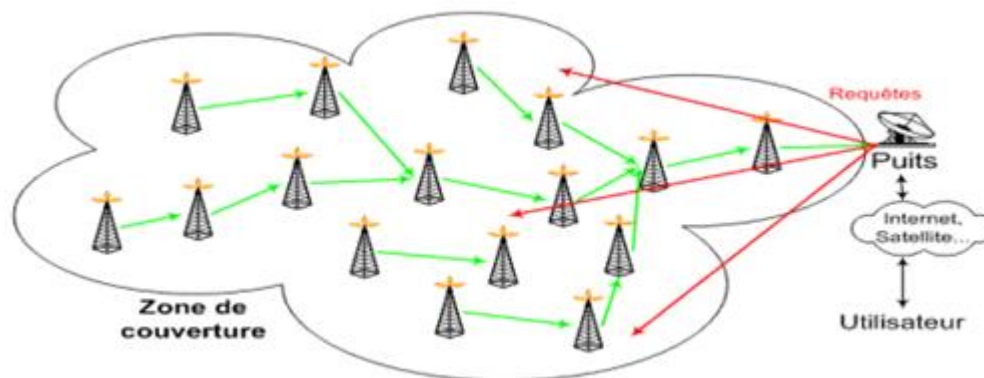


Figure 1. 5 : Collecte d'informations à la demande [14]

✓ **Suite à un événement :**

Lorsqu'un événement se produit en un point de la zone d'intérêt (changement brusque de température, mouvement...), les capteurs transmettent alors les informations collectées au puits. La Figure I.6 explique ce mode de communication. [14]

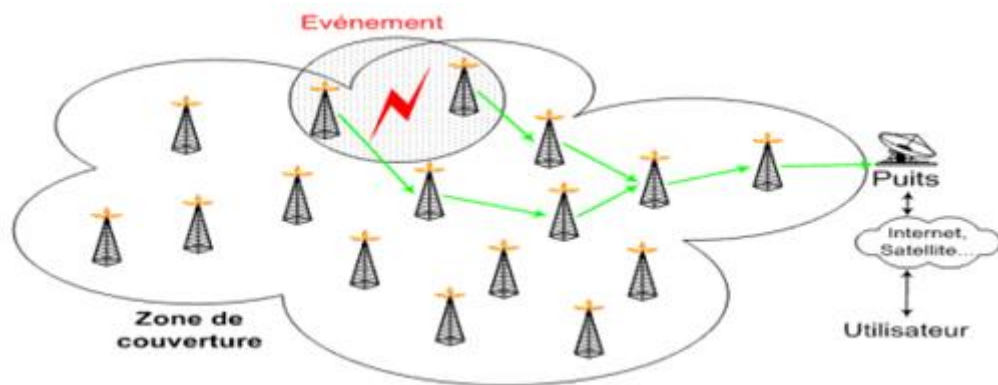


Figure 1. 6 : Collecte d'informations suite à un événement [14]

5.3 Architecture protocolaire :

5.3.1 Modèle en couches :

Le modèle protocolaire en couche représente un standard de la communication entre les nœuds capteurs pour que les constructeurs puissent mettre en œuvre des produits compatibles avec les capteurs sans fil. Ce modèle renferme 5 couches ayant même fonctionnalités que celles du modèle OSI ainsi que 3 couches supplémentaires pour la gestion de la puissance d'énergie, la gestion de la mobilité et la gestion des tâches (interrogation du réseau de capteurs) [15].

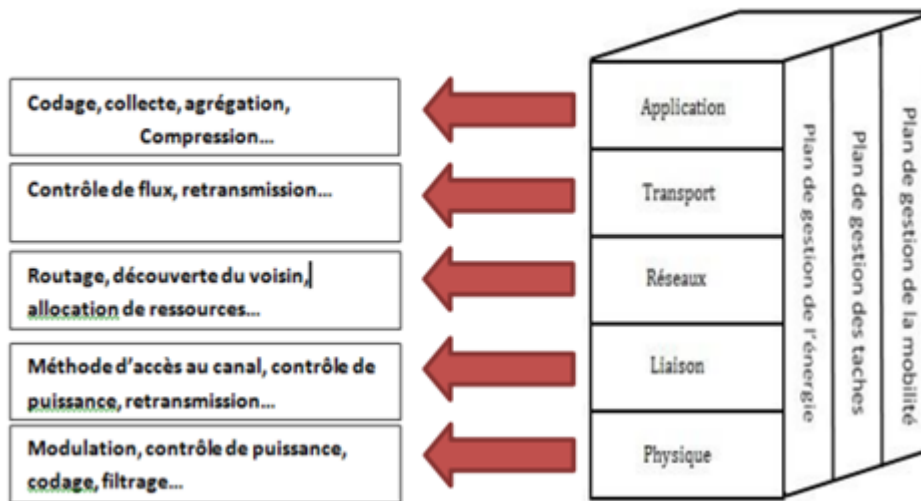


Figure 1. 7 : Modèle en couches pour la communication dans les RCSF

5.3.2 Rôle de chaque couche :

Le rôle de chaque couche est résumé ci-dessous [15] :

➤ **La couche physique :**

Spécifications des caractéristiques matérielles, des fréquences porteuses, etc.

➤ **La couche liaison :**

Spécifie comment les données seront transférées entre deux nœuds dans une distance d'un saut. Elle est responsable du multiplexage des données, du contrôle d'erreurs, de l'accès au média... et établie la liaison point à point et multipoint dans un réseau de capteurs.

➤ **la couche réseau :**

Son rôle est d'exécuter un protocole de routage pour trouver les meilleurs chemins entre une source de donnée et une ou plusieurs destinations.

➤ **La couche transport**

Cette couche contrôle les flux de données entre nœuds, elle est responsable du découpage de l'information en paquets, de la conservation de l'ordre des paquets et de la gestion des éventuelles erreurs de transmission.

➤ **La couche application :**

Cette couche représente une interface avec les applications de l'utilisateur.

6 Les niveaux de gestion dans RCSF :

Les plans de gestions d'énergie, de mobilité et de tâche contrôlent l'énergie, le mouvement et la distribution de tâche au sein d'un nœud capteur. Ces plans aident les nœuds capteurs à coordonner la tâche de captage et minimiser la consommation d'énergie. Ils sont donc nécessaires pour que les nœuds capteurs puissent collaborer ensemble, acheminer les données dans un réseau mobile et partager les ressources entre eux en utilisant efficacement l'énergie disponible. Ainsi, le réseau peut prolonger sa durée de vie.

- Plan de gestion d'énergie :

Consiste à gérer la consommation d'énergie par les capteurs. Dès lors, un capteur peut par exemple éteindre son interface de réception dès qu'il reçoit un message d'un nœud voisin afin d'éviter la réception des messages dupliqués. En outre, si le niveau d'énergie devient bas, le nœud diffuse à ses voisins une alerte les informant qu'il ne peut pas participer au routage, et conserve son énergie au captage [16].

- Plan de gestion de mobilité :

Détecte et enregistre le mouvement du nœud capteur.

- Plan de gestion des tâches:

Le niveau de gestion des tâches contribue à l'équilibrage de la distribution des tâches entre les nœuds du réseau pour assurer un travail coopératif plus efficace en termes de la consommation d'énergie, et par conséquent, étendre la durée de vie du réseau [16].

7 Les caractéristiques des RCSF:

Les principales caractéristiques qui différencient les RCSF des autres réseaux sont illustrées ci-dessous [17],[18], [19]:

➤ Les ressources limitées :

Les capacités des nœuds en traitement, stockage, communication et énergie sont limitées dû à leur taille miniaturisée.

➤ La durée de vie limitée:

La durée de vie d'un RCSF dépend fortement de la consommation de son énergie limitée.

➤ La topologie dynamique :

La topologie d'un RCSF change fréquemment due à la mobilité des nœuds, l'ajout ou défaillance de quelques nœuds.

➤ La densité de déploiement :

Un grand nombre de nœuds capteurs peut être déployé pour assurer une meilleure qualité de surveillance. Cependant, cette densité de déploiement peut engendrer des problèmes tels que la collision ou endommagements de quelques paquets.

➤ L'absence d'adressage fixe des nœuds:

La notion d'adresse IP n'existe pas dans les RCSF. Ces derniers utilisent un adressage basé sur l'attribut du phénomène capté, on parle donc de l'adressage basé attribut. En effet, les requêtes des utilisateurs ne sont pas généralement

destinées à un seul nœud, mais plutôt, à un ensemble de nœuds identifiés par un attribut.

➤ **La sécurité physique limitée :**

Les réseaux de capteurs sans fil sont plus touchés que les réseaux filaires par les attaques de piratage dû à leurs limitations physiques en termes de mémoire et de calculs.

➤ **L'absence d'infrastructure :**

Dans un réseau de capteurs, les nœuds eux même peuvent jouer le rôle d'un routeur, ils n'ont pas donc besoin d'infrastructure préexistante tels que les hubs, switches...etc.

➤ **La scalabilité:**

La scalabilité est la capacité d'un RCSF de maintenir ses performances avec un plus grand nombre de capteurs.

➤ **La bande passante limitée :**

Les nœuds capteurs ont une portée de communication limitée en raison de leur puissance limitée.

8 Les topologies utilisées dans les réseaux de capteur sans fil :

8.1 La topologie en étoile :

Dans cette topologie, les nœuds transmettent directement leurs messages à station de base, sans qu'ils puissent échanger les messages entre eux. Son inconvénient est l'exposition au danger des attaques de sécurité car tout le réseau est géré par un seul nœud. [20]

8.2 La topologie en grille (Mesh Network) :

Dans ce type de topologie tout nœud peut échanger des messages avec n'importe quel autre nœud du réseau avec un seul saut s'il est dans sa portée de transmission, sinon en multi-sauts. L'inconvénient de cette topologie est la consommation d'énergie plus importante et la latence induite par les communications multi-sauts. [20]

8.3 La topologie hybride Une topologie hybride :

Dans ce type de topologie, les deux structures étoiles et grille peuvent être exploitées, généralement les nœuds autonomes en énergie ne routent pas les données, le routage est dédié à des nœuds ayant une source d'énergie externe. [20]

9 Le modèle de consommation d'énergie dans les RCSF :

L'énergie consommée par un nœud capteur est due essentiellement aux opérations suivantes : la capture, le traitement et la communication de données.

9.1 Energie de communication :

L'énergie de communication se décline en deux parties [13]:

1. L'énergie de réception est déterminée par la quantité des données à communiquer et la distance de transmission, ainsi que par les propriétés physiques du module radio.
2. L'énergie de l'émission d'un signal est caractérisée par sa puissance. Quand la puissance d'émission est élevée, le signal aura une grande portée et l'énergie consommée sera plus élevée.

Notons que l'énergie de communication représente la portion la plus grande de l'énergie consommée par un nœud capteur. [13]

9.2 Energie de capture :

L'énergie de capture est due à l'accomplissement des tâches suivantes :

1. Echantillonnage.
2. Traitement de signal.
3. Conversion analogique / numérique.
4. Activation de la sonde de capture.

En général, l'énergie de capture représente un faible pourcentage de l'énergie totale consommé par un nœud.

9.3 Energie de traitement :

L'énergie de traitement se divise en deux parties :

- L'énergie de commutation : elle est déterminée par la tension d'alimentation et la capacité totale commutée au niveau logiciel (en exécutant un logiciel).
- l'énergie de fuite : elle correspond à l'énergie consommée lorsque l'unité de calcul n'effectue aucun traitement.

En général, l'énergie de traitement est faible par rapport à celle nécessaire pour la communication. [18]

L'énergie consommée par le traitement des données est :

$$EDA = 5nj/\text{bit}/\text{signal}.$$

10 Domaines d'applications des RCSF :

L'évolution de la gamme des types de capteurs disponibles (thermique, optique, vibrations...) et l'évolution des supports de communication sans fil, ont élargi le champ d'application des réseaux de capteurs [21] :

10.1 Applications militaires :

Dans ce domaine, le réseau de capteurs peut être déployé sur un champ stratégique ou difficilement accessible, pour y surveiller tous mouvements ou d'analyser le terrain pour éventuelle détection d'agents biologiques ou de radiations, par exemple). [22]



Figure 1. 8 : Un service militaire utilisant les RCSF

10.2 Application à la surveillance :

L'application des réseaux de capteurs dans les grandes structures telles que les banques, les entreprises ou bâtiments aidera à détecter les intrusions ou d'éventuelles catastrophes afin de les prévenir à l'avance et permettra aussi de réduire les dépenses financières dues à la sécurisation par humains. [23]



Figure 1. 9 :la surveillance des bâtiments avec les RCSF

10.3 Application environnementale :

Les réseaux de capteurs sont beaucoup exploités dans le domaine de la surveillance environnementale pour détecter des événements tels que les feux de forêt, les tempêtes ou les inondations. Cela permet une intervention plus rapide et efficace des secours. Dans le domaine de l'agriculture, les capteurs peuvent être utilisés dans la gestion de l'irrigation des champs agricoles. [23]



Figure 1.10: utilisation des capteurs météo dans l'agriculture avec RCSF

10.4 Applications médicales :

Dans le domaine médical, les réseaux de capteurs peuvent être utilisés pour prendre soins permanent des malades à distance. Ils peuvent aussi faciliter le

diagnostic de quelques maladies en effectuant des mesures physiologiques plus précises telles que : la tension artérielle, battements du cœur, ...etc. [23]

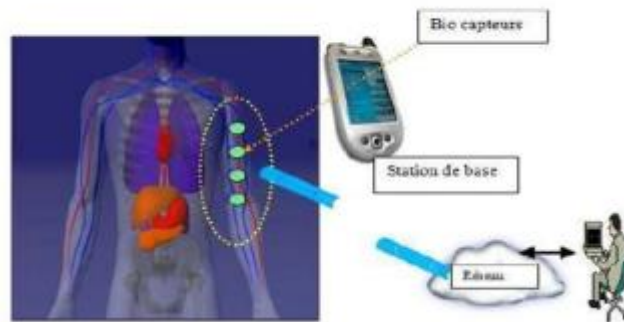


Figure 1. 10 : application des RCSF en médecine.

10.5 Les applications domestiques:

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. [23]



Figure 1. 11 : utilisation des capteurs d'anti-intrusion avec RCSF

10.6 Applications commerciales :

Il est possible d'intégrer des nœuds capteurs au processus de stockage et de livraison. Le réseau pourra être utilisé pour connaître la position, l'état et la direction d'un paquet ou d'une cargaison. Il devient alors possible pour un client qui attend la réception d'un paquet d'avoir un avis de livraison en temps réel et de connaître la position actuelle du paquet. 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. Grâce aux réseaux de capteurs, les entreprises pourraient offrir une meilleure qualité de service tout en réduisant leurs coûts. [23]

10.7 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). [7]



Figure 1. 12 : Capteurs utilisés dans le domaine sportif

11 Conclusion:

Les réseaux de capteurs sans fil présentent un intérêt considérable vu la diversité de leurs applications : santé, environnement, industrie et même dans le domaine sportif.

Dans ce premier chapitre, nous avons présenté les réseaux de capteurs sans fil, leurs architectures de communication, la pile protocolaire des capteurs et leurs diverses applications. Cependant, nous avons remarqué que plusieurs facteurs et contraintes compliquent la gestion de ce type de réseaux. En effet, les réseaux de capteurs se caractérisent par une capacité énergétique limitée rendant l'optimisation de la consommation d'énergie dans des réseaux une tâche critique pour prolonger la durée de vie du réseau.

***Chapitre 2 : Le
Routage Dans Les
RCSFs***

1 Introduction :

Les progrès récents dans les réseaux de capteurs sans fil ont conduit à de nombreux nouveaux protocoles spécialement conçus pour les réseaux de capteurs où la sensibilisation à l'énergie est une considération essentielle. Cependant, la plus grande partie de l'attention a été accordée aux protocoles de routage, car ils peuvent différer en fonction de l'application et de l'architecture du réseau. Ce chapitre présente les protocoles de routage pour les réseaux de capteurs et présente une classification de ces différents protocoles. Les quatre principales catégories explorées dans ce chapitre sont centrées sur la topologie du réseau, le mode d'établissement des chemins, les paradigmes de communication et selon le mode de fonctionnement du protocole. Chaque protocole de routage est décrit et discuté dans la catégorie appropriée. En outre, les Contraintes de routage dans les réseaux de capteurs sont également abordées.

2 Définition de routage :

Le routage est l'opération d'acheminement des données entre un nœud collecteur et un ou plusieurs nœuds de destination via un réseau de connexion. Pour un acheminement optimal, les fonctions de routage (procédures, protocoles...etc.) doivent tenir compte des ressources limitées des nœuds.

Parmi les facteurs qui affectent le processus de routage, le nombre important des nœuds, leurs contraintes matérielles et énergétiques, l'environnement de déploiement et la topologie du réseau. Pour y remédier, plusieurs protocoles de routage ont été proposés dans la littérature comme des solutions aux différentes contraintes engendrées par ces facteurs [24].

3 Définition de protocole :

L'échange d'informations (données, messages, requêtes...etc.) sur le réseau nécessite des équipements de transmission sans fil (antennes radio), et un ensemble de règles et de procédures assurant un standard de communication entre les nœuds. Le protocole assure la liaison de ces équipements physiques et procéduraux,

Dans les RCSF, plusieurs protocoles sont déployés aux différents niveaux de la couche protocolaire pour assurer la communication entre les équipements du réseau (les nœuds capteurs entre eux ou avec la station de base) et la sécurité des messages échangés. On cite par exemple, les protocoles TRAMA, S-MAC pour la couche liaison de données, TEEN, APTEEN, LEACH pour la couche réseau ou Pike, LEAP comme protocoles cryptographiques assurant la sécurité des données[24].

Dans la suite de notre travail, nous nous focaliserons sur les protocoles de routage permettant d'acheminer d'une façon optimisée les données sur le réseau.

4 Contraintes de routage dans les réseaux de capteurs sans fil :

Le routage dans les réseaux de capteurs diffère de celui des réseaux Ad Hoc dans les points suivants:

- ✓ Il n'est pas possible d'établir un système d'adressage global pour le grand nombre de nœuds.
- ✓ Les applications des réseaux de capteurs exigent l'écoulement de donnée mesurée
Depuis des sources multiples vers la destination finale.
- ✓ Les différents capteurs peuvent générer les mêmes données à proximité d'un phénomène (problème de la redondance des données). Les nœuds capteurs exigent ainsi une gestion soignée des ressources. [25]

5 Les critères de performance des protocoles de routage en RCSF :

La performance des réseaux de capteurs sans fil est fondée sur les facteurs suivants [25]:

- **Evolutivité :**

Tous les nœuds du réseau doivent être évolutifs ou peuvent s'adapter aux changements de la topologie du réseau.

- **L'énergie:**

Un nœud dans le réseau doit savoir combien d'énergie sera utilisée pour effectuer une nouvelle tâche afin de l'accomplir.

- **Le temps de traitement:**

Il se réfère au temps pris par le nœud dans le réseau pour accomplir les opérations de la détection, le traitement ou le stockage, la transmission ou la réception de données. Ce temps doit être réduit.

- **Le schéma de transmission :**

la transmission de données par les nœuds de capteurs vers la destination ou la station de base se fait par un schéma de routage à un seul saut ou à multi-saut.

- **Synchronisation :**

Dans les communications radio entre les nœuds d'un RCSF, les capteurs écoutent en permanence les transmissions et consomment de l'énergie s'ils ne sont pas synchronisés les uns les autres. Pour cela, un nœud doit avoir la même notion de temps pour se mettre en veille et se réveiller que ses voisins.

- **Contrôle de paquets :**

Le paquet de contrôle envoyé avant la transmission contient le nombre de bits de données envoyés, l'adresse du nœud de destination et certaines informations qui contribuent à éviter les collisions pendant la transmission. [25]

6 Classification des protocoles de routage :

Les protocoles proposés dans la littérature présentent des points communs et peuvent être classifiés suivant un certain nombre de critères. La classification détaillée ci-dessous dans La Figure 2.1 se base sur quatre critères notamment : la topologie du réseau, le mode d'établissement des chemins, les paradigmes de communication et selon le mode de fonctionnement du protocole. [26]

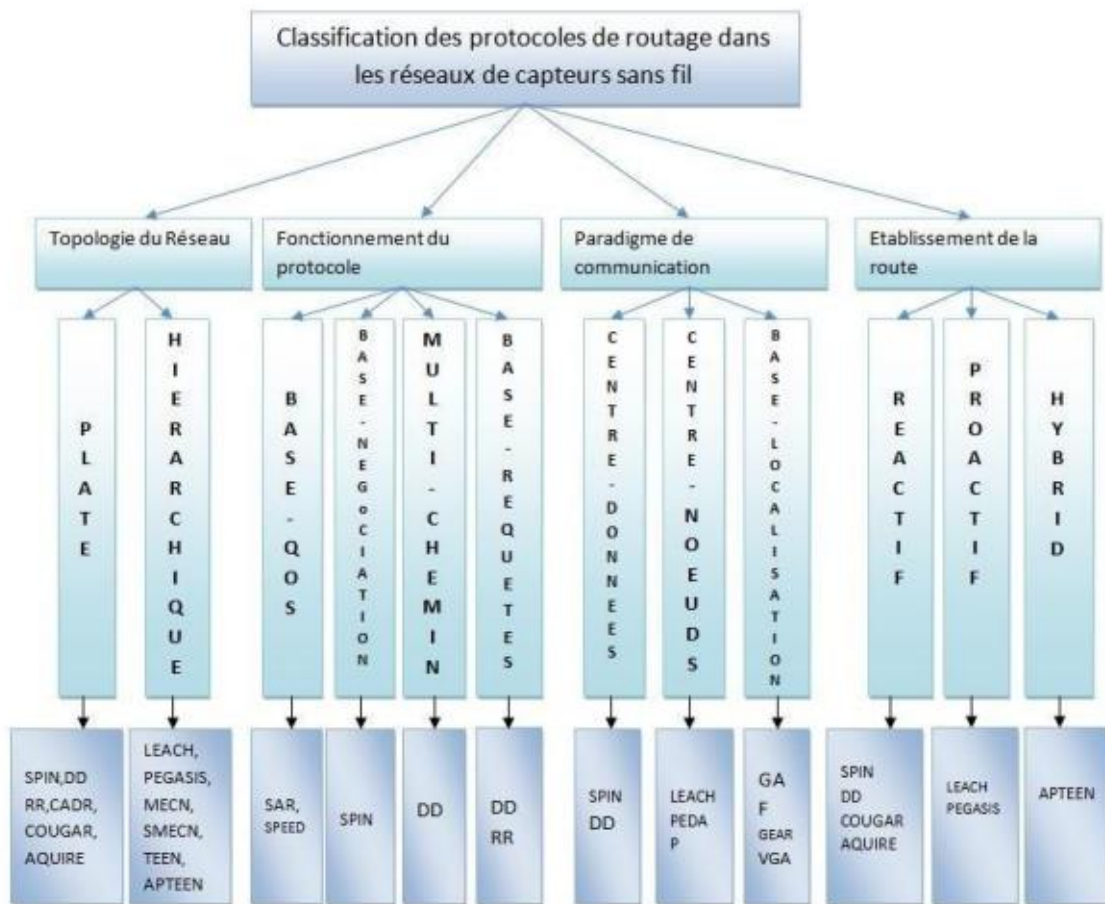


Figure2. 1 : Les principaux protocoles de routages dans les RCSF [27]

6.1 Classification selon la topologie (structure) du réseau :

6.1.1 Topologie plate (Flat Routing) :

Dans cette topologie, tous les nœuds jouent le même rôle, c'est-à-dire détecter l'événement, traiter l'information, transmettre les données via un routage multi-sauts et signaler l'événement [28] L'architecture à topologie plate a été utilisée

par les protocoles d'agrégation de données, les protocoles de collecte de données, les protocoles de routage et les protocoles d'ordonnancement des nœuds [29]. Cette topologie utilise des routes de qualité pour transmettre les données du nœud source au nœud puits par inondation. L'inondation est une technique où un nœud diffuse des informations et contrôle les paquets qu'il a reçus aux autres nœuds du réseau. Ce processus est répété jusqu'à ce que le nœud de destination soit atteint. L'agrégation de données est réalisée dans un réseau plat par routage centré sur les données, où la station de base diffuse un message de requête aux nœuds de capteurs par inondation. Les nœuds capteurs qui ont les données correspondantes dans la requête renvoient ensuite une réponse à la station de base [29].

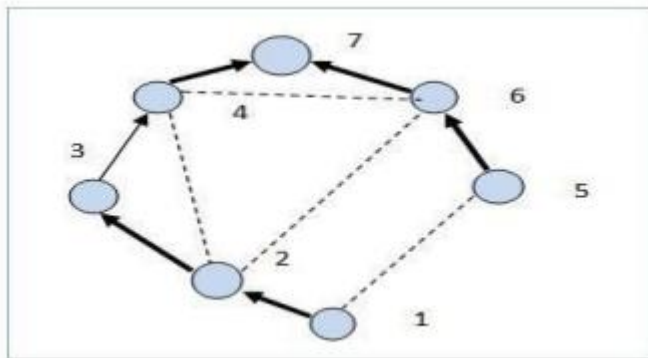


Figure2. 2 : Topologie plate

6.1.2 Topologie hiérarchique :

Cette structure est formée en regroupant les nœuds en trois éléments principaux ;les nœuds capteurs, les chefs de cluster et la station de base

Les nœuds capteurs surveille et détecte l'environnement. Ces nœuds sont disposés en clusters et transmet les données détectées au cluster chef après traitement. Chaque cluster formé sélectionne un chef de cluster qui sert comme passerelle entre ses membres et la station de base. Le chef de cluster fonctionne en effectuant des tâches telles que l'agrégation de données, pour tous nœuds du cluster, avant de l'envoyer à la BS. Cette structure présente beaucoup

d'avantages tels que, la scalabilité, la réduction de la consommation d'énergie et la tolérance aux pannes.

Un exemple de cette topologie est donné dans la Figure 2.3 ci-dessous.

Pour que les paquets générés par le nœud F atteignent le nœud L, ils doivent passer par les passerelles P, S et R. Dans la suite nous citons quelques uns. [30]

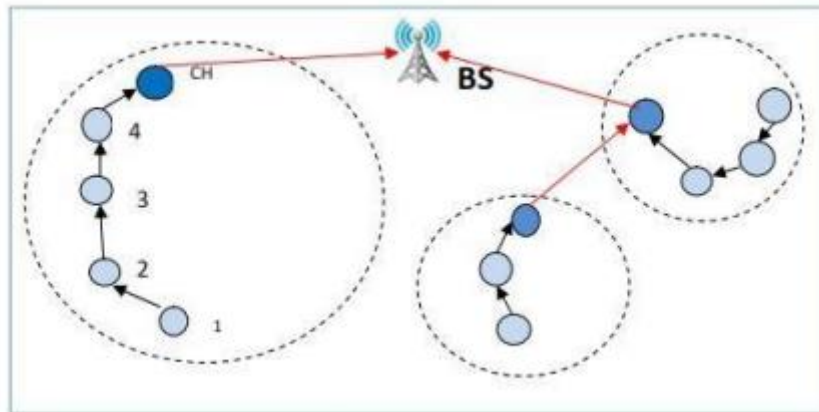


Figure2. 3 : Routage hiérarchique

➤ **LEACH (Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy) :**

Heinzelman et al. ont proposé un algorithme de clustering distribué appelé LEACH pour le routage dans les réseaux de capteurs homogènes. LEACH est l'un des algorithmes de routage hiérarchique le plus populaire. L'idée est de former des clusters de nœuds de capteurs basés sur les zones où il y a un fort signal reçu, puis utiliser des clusters- chefs locaux comme passerelle pour atteindre la destination. Cela permet d'économiser de l'énergie car les transmissions ne sont effectuées que par les cluster- chefs plutôt que par tous les nœuds de capteurs [31].

➤ **PEGASIS (Power-Efficient Gathering in SensoInformationSystems) :**

L'idée principale de PEGASIS est de former une chaîne entre les nœuds de sorte que chaque nœud reçoive de et communique à un voisin proche (Voir Figure 2.4).

Les données collectées sont transmises d'un nœud à un autre qui les agrège jusqu'à ce qu'elles parviennent à la station de base. Les nœuds qui transmettent les données à la station de base, sont choisis périodiquement selon une politique round-robin dans le but de réduire leur consommation d'énergie pour prévenir leur mort précoce. Contrairement à LEACH, PEGASIS ne forme pas des clusters et procure à un seul nœud dans la chaîne l'envoi de données à la station de base.

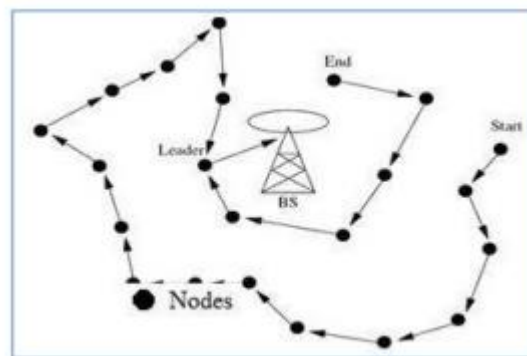


Figure2. 4 : Illustration du protocole PEGASIS

6.1.3 Les protocoles de routage basés sur la localisation :

Les protocoles de routage basés sur la localisation utilisent les informations d'emplacement pour guider la découverte du chemin de routage. Ils permettent la transmission directionnelle de l'information en évitant l'inondation d'information dans l'ensemble du réseau. Par conséquent, le coût de contrôle de l'algorithme est réduit et le routage est optimisé. De plus, avec la topologie réseau basée sur des informations de localisation de nœuds, la gestion du réseau devient simple. L'inconvénient de ces protocoles de routage est que chaque nœud doit connaître les emplacements des autres nœuds ce qui alourdi l'algorithme de routage. [32][33]

➤ Le protocole de routage « MECN » :

Minimum Energy Communication Network (MECN) est un protocole de routage qui cherche à établir et à entretenir une énergie minimale pour les réseaux sans fil en utilisant des GPS de faible puissance. MECN identifie une

région de relais pour chaque nœud. La région de relais se compose de nœuds dans une zone où la transmission à travers ces nœuds est plus économe en énergie que la transmission directe. L'idée principale de MECN est de trouver un sous-réseau qui a moins de nœuds et qui nécessite moins d'énergie pour la transmission entre deux nœuds quelconques. Cela est effectué en utilisant une recherche localisée pour chaque nœud en prenant en considération sa région de relais. [34]

➤ **Le protocole de routage « GAF » :**

C'est un protocole de routage basé sur la localisation des nœuds proposé au départ pour les réseaux MANET. Ce protocole découpe le réseau en plusieurs zones virtuelles; chaque nœud est affecté à une zone donnée selon ses coordonnées géographiques (en utilisant le GPS). Les nœuds appartenant à la même zone sont considéré comme équivalents en coût de routage; ainsi, on choisit seulement un nœud de chaque zone pour router les données et les autres sont misent en mode veille pour conserver de l'énergie. De cette façon, la durée de vie du réseau est Augmentée.

Dans GAF, le nœud peut se retrouver dans l'un des trois cas possibles :

- Mode découverte : pour déterminer ses voisins de zone
- Mode actif : s'il participe dans le routage de données
- Mode veille : s'il ne participe pas au routage

Les transitions d'état de GAF sont représentées sur la Figure 2.5 Quel nœud va dormir et pendant combien de temps .Ses paramètres sont liés à l'application et ajustés pendant le processus de routage. [35]

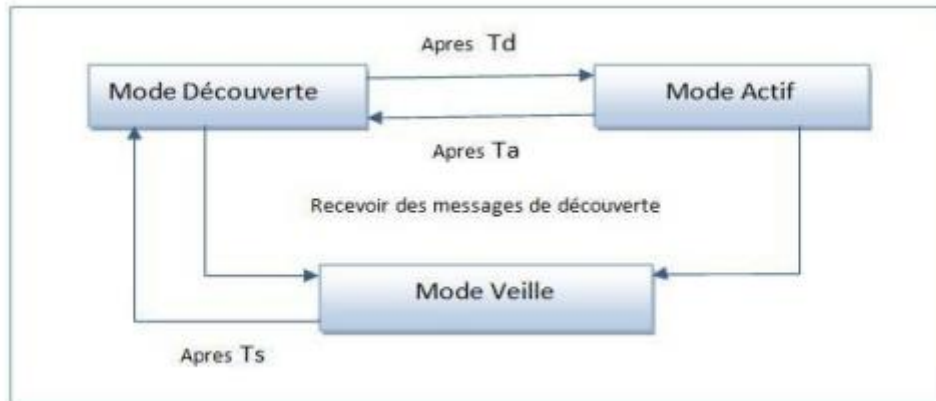


Figure2. 5 : Transitions des états dans GAF

En effet, un seul nœud dans chaque grille reste à l'état actif en faisant passer les autres nœuds de la grille à l'état de veille pour une certaine période de temps. Les nœuds d'une zone constituent un groupe défini par leur positionnement dans une même zone délimitée physiquement. Il faut noter que GAF ne prend pas en compte l'énergie du nœud lors du choix du représentant, ce qui peut générer des trous dans le réseau une fois que ce dernier épuise son énergie [36].

➤ **Le protocole de routage «GEAR » :**

Le protocole de routage GEAR (Geographic and EnergyAwareRouting) consiste à utiliser l'information géographique lors de la diffusion des requêtes aux régions cibles. L'idée est de limiter le nombre de données à diffuser en se focalisant sur uniquement une région cible plutôt qu'à l'ensemble du réseau. Avec ce protocole, chaque nœud calcul un coût estimé et un coût d'apprentissage pour atteindre la destination via ses voisins.

Le coût estimé est basé sur l'énergie résiduelle et la distance jusqu'à atteindre la destination.

Le coût d'apprentissage est un raffinement du coût estimé lorsqu'un nœud n'a pas de voisin proche pour atteindre la région cible [37][38].

6.2 Classification selon les paradigmes de communication :

Le paradigme de communication détermine la manière dont les nœuds sont interrogés. Dans les RCSF, il existe trois paradigmes de communication : centré nœuds, centré données et basé sur la localisation. [39]

6.2.1 Centré-nœuds (Node-centric) :

Ce paradigme est celui employé dans les réseaux conventionnels, où il est nécessaire d'identifier chaque nœud du réseau (l'adresse IP par exemple) pour effectuer des interrogations individuelles des capteurs. [40]

6.2.2 Centré-données (Data-centric) :

Ce paradigme suppose qu'il est difficile d'avoir des identifiants comme les adresses MAC ou IP, pour cela, les données sont propagées de proche en proche jusqu'à arriver au nœud puits. [41]

➤ Le protocole de routage « SPIN » :

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 d'envoyer une métadonnée (description de la donnée) au lieu d'envoyer la donnée entière pour résoudre le problème d'inondation et de redondance de messages.

Les communications dans SPIN se font en trois étapes (voir Figure 2.6) avec trois types de messages: ADV/REQ/DATA.

- Un nœud voulant émettre une donnée, envoie un paquet ADV (une métadonnée).
- Les nœuds qui reçoivent ce paquet vérifient si les données les intéressent. Si oui, ils répondent par un paquet REQ.
- Le nœud qui a initié la communication envoie alors un paquet DATA au nœud intéressé.

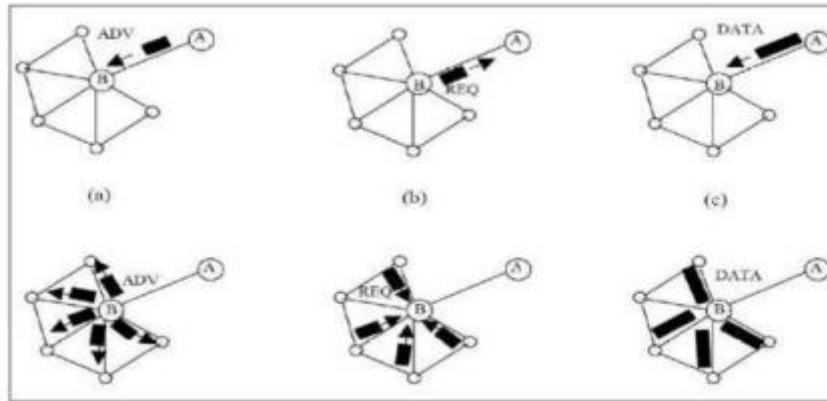


Figure2. 6 : Le protocole SPIN

L'avantage principal de SPIN est l'élimination des messages redondants, en plus il est robuste au changement de la topologie car chaque nœud n'a besoin de communiquer des informations de contrôle qu'avec ses voisins directs. Néanmoins, cet avantage peut ne pas garantir la livraison des données dans le cas où le nœud ayant les données sollicitées est injoignable. [42]

➤ **Le protocole DD (diffusion dirigée) :**

La diffusion dirigée est une technique de diffusion centrée sur les données et économe en énergie pour les réseaux de capteurs sans fil. En diffusion dirigée, la requête de l'opérateur humain se transformerait en intérêt. L'intérêt est alors diffusé à travers les nœuds du réseau (appelés source). Le nœud activera ses capteurs pour collecter des informations. La diffusion met en place des gradients destinés à tirer des données correspondant à l'intérêt. Les données collectées peuvent être renvoyées aux expéditeurs le long de plusieurs chemins. Le réseau de capteurs renforce une ou un petit nombre de ces voies [43].

Ainsi, Plusieurs routes peuvent être établies de telle sorte que l'une d'elle est choisie par renforcement. La destination renvoie le message d'intérêt initial à travers la route choisie. Un intervalle plus petit renforce donc le nœud source sur ce chemin pour envoyer des données plus fréquemment. [44]

La Figure 2.7 illustre les phases de fonctionnement de ce protocole.

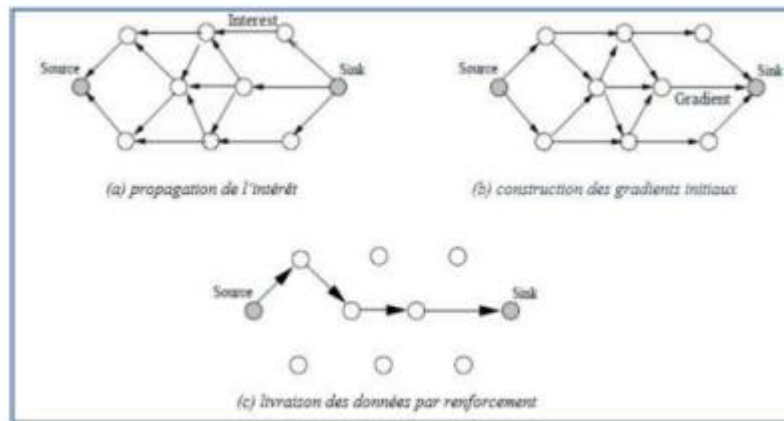


Figure2. 7 : Fonctionnement du protocole DD

➤ **Le protocole de routage par rumeur :**

L'idée clé de cet algorithme est de trouver une route vers les nœuds qui ont observé l'événement pour répondre à une requête donnée, plutôt que d'inonder tout le réseau pour récupérer des informations sur l'événement survenu.

L'événement détecté par un nœud donné sera ajouté à sa liste locale puis un agent généré parcourt le réseau pour diffuser cet événement. Lorsque un nœud envoie une requête, les nœuds qui connaissent le chemin, répondent à la requête en inspectant leur liste d'événements. Contrairement à la diffusion dirigée, ce routage n'utilise qu'un seul chemin entre la source et la destination. Les résultats de simulation ont montré que le routage par rumeur peut économiser l'énergie significativement par rapport à DD. Toutefois, le routage par rumeur lorsque le nombre d'événements est significatif, le coût du maintien des agents et des listes d'événements de chaque nœud devient impossible. [45]

6.3 Classification selon le mode de fonctionnement du protocole :

Dans ce paradigme, les protocoles de routage peuvent être classifiés en quatre catégories : routage basé sur la Qualité de Service "QoS" (Quality of Service "QoS" basedrouting), routage basé sur les requêtes (query-basedrouting),

routage multi-chemins (Multi-pathrouting), et routage basé sur la négociation (Negociationbasedrouting). [46]

6.3.1 Routage basé sur multi-chemins :

Dans cette catégorie, les protocoles de routage construisent des chemins multiples entre la source et la destination pour utiliser des chemins alternatifs en cas de défaillance du chemin initial afin de renforcer la fiabilité . Ce types de protocoles malgré leur tolérance aux pannes, requièrent plus d'énergie et plus de messages de contrôle. [47]

6.3.2 Routage basé sur requêtes :

Dans ce type de routage, le puits 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 (par exemple SQL). Les nœuds qui disposent les données requises doivent les envoyer au nœud demandeur à travers le chemin inverse de la requête. [49]

6.3.3 Routage basé sur la qualité de service :

Dans les protocoles de routage basés sur QoS, le réseau doit satisfaire certaines métriques de QoS, tels que, la latence, l'énergie, largeur de la bande passante, ...etc. Ce type de protocoles est une nécessité pour certaine applications de surveillance (centrales nucléaires, applications militaires, détection de feu ...etc.). [49]

6.4 Selon le mode l'établissement des chemins :

Suivant la manière de création et de maintien des chemins pendant le routage, nous distinguons trois catégories de protocoles de routage : les protocoles proactifs, les protocoles réactifs et les protocoles hybrides . [49]

6.4.1 Les protocoles proactifs :

Dans les protocoles proactifs, chaque nœud maintien des tables de routage contenant les informations de routage pour chaque nœud du réseau. Chaque

nœud maintient une cohérence et des informations de routage à jour en envoyant périodiquement des messages de contrôle entre les nœuds qui mettent à jour leurs tables de routage. Les protocoles de routage proactif utilisent des algorithmes de routage à état de liens qui inondent fréquemment le lien des informations sur son voisin. L'inconvénient du protocole de routage proactif est que tous les nœuds du réseau maintiennent toujours une table mise à jour ce qui alourdi l'algorithme et consomment plus d'énergie. Certains des protocoles de routage proactifs existants sont DSDV, WRP, CGSR et OLSR [50].

6.4.2 Les protocoles réactifs :

Dans les protocoles de routage réactifs, lorsqu'une source veut envoyer des paquets vers une destination, elle invoque la découverte de route mécanismes pour trouver l'itinéraire vers la destination. L'itinéraire reste valable jusqu'à ce que la destination soit accessible ou jusqu'à ce que le l'itinéraire n'est plus nécessaire. Contrairement aux protocoles basés sur des tables, tous les nœuds n'ont pas besoin de maintenir des informations de routage à jour. Routage de vecteur de distance à la demande ad hoc (AODV) : le vecteur de distance à la demande ad hoc (AODV)

Le protocole de routage est basé sur le DSDV. AODV est une version améliorée de DSDV car il diffuse uniquement sur demande, alors que dans DSDV, les diffusions sont périodiques. Lorsqu'un nœud source souhaite envoyer un message à certain nœud de destination et n'a pas déjà une route valide vers cette destination, il lance un processus de découverte de chemin pour localiser l'autre nœud. Il diffuse un paquet de demande de route (RREQ) à ses voisins, qui transmettent ensuite la demande à leurs voisins, et ainsi de suite, jusqu'à la destination localisée. DSR, AODV, TORA, ABR sont des exemples des protocoles de routage à la demande (réactifs) [50].

6.4.3 Protocoles hybrides :

Ce type de protocoles combine le principe des deux types de protocoles proactif et réactif pour exploiter leurs points forts. Une approche par exemple consiste à diviser le réseau en zones, et utiliser un protocole dans la zone, et une autre établit d'abord de manière proactive des itinéraires prospectés et utilise ensuite la demande réactive aux nœuds. Les principaux inconvénients sont que les avantages dépendent du nombre de nœuds activés. Aussi la réaction à la demande de trafic dépend du gradient du volume de trafic. ZRP, ZHLS sont des exemples des protocoles hybrides [51].

7 Conclusion:

Le routage dans les réseaux de capteurs sans fil a attiré beaucoup d'attention ces dernières années et introduit des défis uniques par rapport au routage traditionnel dans les réseaux filaires.

Dans ce chapitre, après avoir abordé les difficultés et les défis de routage dans les réseaux de capteurs sans fil, nous avons résumé le principe de plusieurs types de protocoles de routage classifiés selon quatre critères dans la littérature, notamment, selon la topologie du réseau, le mode d'établissement des chemins, les paradigmes de communication et selon le mode de fonctionnement du protocole.

Chapitre 3 :
Proposition d'un
protocole de routage
basé sur EDEEC et la
méthode d'essaim de
particules

1 Introduction :

Dans ce travail, un algorithme de sélection des clusters chefs (CHs) efficace en termes de la conservation d'énergie est proposé pour améliorer le protocole EDEEC. L'algorithme de sélection de CHs proposé est basé sur la méthode d'optimisation par essaims de particules binaire (BPSO).

Le BPSO est intégré au protocole EDEEC pour améliorer ses performances par recherche des CHs optimaux. La sélection de CHs est guidée par une fonction objective, qui comprend en considération l'énergie résiduelle de chaque CH et l'énergie résiduelle moyenne du réseau du rth round.

Les résultats montrent que l'incorporation de l'algorithme BPSO dans la phase de sélection du EDEEC a amélioré considérablement les performances du protocole EDEEC par comparaison à EDEEC et CLEACH.

2 Le protocole LEACH :

Le protocole LEACH est l'un des premiers protocoles hiérarchiques qui commence par sélection d'un nombre de nœuds en tant que cluster Head (CH), et puis chacun des nœuds rejoint le groupe du CH qui lui est le plus proche en fonction de sa force du signal, ensuite les nœuds collectent les données, les envoient à leurs CHs qui effectuent leur agrégation et passent l'information compressée à la station de base (BS) pour un éventuel traitement [52],[53].

Pour chaque tour (round), le protocole exécute les deux phases : construction et communication.

2.1 La phase de construction (setup phase)

Divisée en trois étapes: La sélection de CH, formation de cluster et assignation de TDMA (Time-division multiple access).

2.2 L'étape de sélection des CHs :

Pour chaque round, un nombre aléatoire est généré entre 0 et 1 pour chaque nœud, si ce nombre est inférieur à un seuil $T(S_i)$ qui tient en compte le nombre de fois ce nœud était élu comme CH et le pourcentage prédéfini de CHs, ce nœud devient un CH.

Le seuil de chaque nœud S_i est calculé comme suit [52] :

$$\begin{cases} T(S_i) = \frac{p}{1 - p * r \bmod (\frac{1}{p})} S_i \in G \\ T(S_i) = 0 \quad \text{sinon} \end{cases} \quad (1)$$

Où:

P : pourcentage souhaité de CHs.

r: le tour courant (round)

G: l'ensemble des nœuds non élus comme CH pendant les $1/p$ tours précédents ; une façon d'alterner le rôle d'un CH entre les nœuds pour prolonger leurs durées de vie.

Donc le choix de CHs se fait aléatoirement en alternant les rôles de CHs entre les nœuds par l'équation 1 qui favorise les nœuds non élus pendant $1/P$ tours (i.e pendant un nombre de tours égal au nombre souhaité de CHs)

3 Le protocole LEACH centralisé (C-LEACH)

Il existe plusieurs version du LEACH Centralisé, le C-LEACH que nous avons employé dans nos tests est similaire à LEACH, la contrainte additionnelle est que ici seules les nœuds ayant une capacité énergétique supérieure à l'énergie moyenne du réseau EAvG peuvent être élus comme CH.

Le C-LEACH que nous avons employé dans nos tests expérimentaux est très similaire à LEACH, la différence ici est que seules les nœuds ayant une énergie supérieure à l'énergie moyenne du réseau EAvG peuvent être élus comme CH.

$$E_{avg} = \frac{\sum_{i=1}^N E_i}{N} \quad (2)$$

Où: E_i : l'énergie résiduelle du nœud S_i .

N : est le nombre de nœuds

Autrement dit, pour chaque nœud, un nombre aléatoire entre 0 et 1 est généré, si ce nombre est inférieur au seuil $T(S_i)$ calculé par l'équation 1 ci-dessus, et si son énergie est supérieure à l'énergie moyenne du réseau, ce nœud devient un CH.

La phase de communication du C-LEACH est la même que celle de LEACH.

4 Le protocole EDEEC:

EDEEC utilise la même idée que DEEC sur un réseau hétérogène à trois niveaux. Ainsi, pour trois énergies initiales différentes E_0 , $(E_0.a)$ et $(E_0.b)$ de nœuds nommés respectivement nœuds normaux, avancés et super.

Les probabilités pour la sélection de CHs sont comme suit [54]:

$$P_{i\text{norm}} = \frac{P \cdot E_i(r)}{(1 + a + b) \cdot \bar{E}(r)}$$

$$P_{i\text{advan}} = \frac{P \cdot E_i(r) \cdot a}{(1 + a + b) \cdot \bar{E}(r)} \quad (3)$$

$$P_{i\text{super}} = \frac{P \cdot E_i(r) \cdot b}{(1 + a + b) \cdot \bar{E}(r)}$$

Où

$E_i(r)$: l'énergie résiduelle du nœud i

$\bar{E}(r)$ est l'énergie moyenne du round r calculée comme suit:

$$\bar{E}(r) = \frac{1}{N} \cdot E_{total} \left(1 - \frac{r}{R}\right) \quad (4)$$

$$R = \frac{E_{total}}{E_{round}}$$

$$E_{round} = k(2NE_{elec} + NE_{da} + k \cdot Emp \cdot d_{CHtoBS}^4 + N \cdot E_{fs} d_{NtoCH}^2)$$

$$d_{toCH} = \frac{M}{\sqrt{2\pi k}}, \quad d_{toBS} = 0.765 \frac{M}{2},$$

Pour un réseau hétérogène à plusieurs niveaux, la probabilité p_i pour la sélection CH est calculée par l'équation (eq14) [6]:

$$P_i = \frac{P \cdot N(1 + a) \cdot E_i(r)}{(N + \sum_{i=1}^N a_i) \cdot \bar{E}(r)} \quad (5)$$

Dans nos expérimentations, “ P ” est le pourcentage souhaité de CHs, et nous avons utilisé la probabilité de (5) pour sélectionner les CHs, c'est-à-dire pour chaque nœud, une valeur aléatoire entre (0 et 1) est générée, si cette valeur est inférieure au seuil calculé par (1) (décrit dans le protocole LEACH) sur p_i de l'équation (5) alors ce nœud devient un CH.

La phase de communication est la même que celle de LEACH

5 Le modèle énergétique :

Pour transmettre un message de S bits sur une distance de d mètres, l'émetteur consomme :

$$E_{Tx}(S, d) = S * E_{elec}(S, d) + S * \epsilon_{amp} * d^2 \text{ si } d < d_0$$

$$E_{Tx}(S, d) = S * E_{elec}(S, d) + S * \epsilon_{amp} * d^4 \text{ sinon}$$

Pour recevoir un message de S bits, le récepteur consomme :

$$E_{rx}(s) = S * E_{elec}(S, d)$$

Avec:

- E_{elec} : énergie de transmission/réception électronique.
- S : taille d'un paquet.

- d : distance entre l'émetteur et le récepteur.
- ϵ_{amp} : énergie d'amplification.
- d_0 : distance limite pour laquelle les facteurs de transmission changent de valeur.

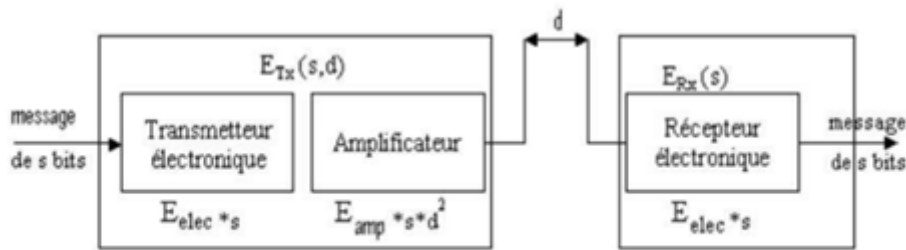


Figure 3. 1: Modèle de consommation d'énergie pour la communication [18].

6 L'optimisation par essaim de particules :

PSO est un algorithme simple et efficace qui commence par un certain nombre de particules placées de manière aléatoire dans l'espace de recherche et initialisées avec des vitesses aléatoires.

La mise à jour de la position $x_{i,d}$ et vitesse $v_{i,d}$ de chaque particule i dans la dimension du problème d se fait par les équations suivantes[55] :

[55] :

$$x_{i,d}(it + 1) = x_{i,d}(it) + v_{i,d}(it + 1)$$

$$v_{i,d}(it + 1) = v_{i,d}(it) + C1 * Rnd(0, 1) * [p_{bi,d}(it) - x_{i,d}(it)] + C2 * Rnd(0, 1) * [g_{bd}(it) - x_{i,d}(it)]$$

it :est le nombre d'itérations, l'algorithme est itératif ;

$C1$ constante d'accélération pour la composante cognitive ;

$C2$ constante d'accélération pour la composante sociale ;

Rnd composante stochastique de l'algorithme, une valeur aléatoire comprise entre 0 et 1 ;

$p_{bi,d}$ l'emplacement dans la dimension d avec la meilleure fitness de tous les emplacements visités par la particule i ;

g_{bd} l'emplacement dans la dimension d avec la meilleure fitness parmi tous les emplacements visités par toutes les particules.

7 L'algorithme PSO en pseudo code

Initialisation

```
1 : pour chaque particule i dans S faire
2 : pour chaque dimension d dans D faire
3 : // initialiser la position et la vitesse de toutes les particules
4 :  $x_{i,d} = \text{Rnd}(x_{\min}, x_{\max})$ 
5 :  $v_{i,d} = \text{Rnd}(-v_{\max}/3, v_{\max}/3)$ 
6 : fin pour
7 : // initialiser la meilleure position de la particule
8 :  $p_{bi} = x_i$ 
9 : // mettre à jour la meilleure position globale
11 : si  $f(p_{bi}) < f(g_b)$  alors
12 :  $G_o = p_{bi}$ 
13 : fin si
14 : fin pour
```

L'algorithme

```
1 : // initialise toutes les particules
2 : Initialiser
3 : répéter
4 : pour chaque particule i dans S faire
```

```

5 : //met à jour la meilleure position de la particule
6 : si  $f(x_i) < f(p_{bi})$  alors
7 :  $p_{bi} = x_i$ 
8 : fin si
9 : / mettre à jour la meilleure position globale
10 : si  $f(p_{bi}) < f(g_b)$  alors
11 :  $G_o = p_{bi}$ 
12 : fin si
13 : fin pour
14:
15 : / mettre à jour la vitesse et la position de la particule
16 : pour chaque particule  $i$  dans  $S$  faire
17 : pour chaque dimension  $d$  dans  $D$  faire
18 :  $v_{i,d} = v_{i,d} + C1 * Rnd(0, 1) * [p_{bi,d} - x_{i,d}] + C2 * Rnd(0, 1) * [g_{bd} - x_{i,d}]$ 
19 :  $x_{i,d} = x_{i,d} + v_{i,d}$ 
20 : fin pour
21 : fin pour
22:
23 : // itération
24 :  $it = it + 1$ 
25 : jusqu'à  $it \geq \text{MAX ITÉRATIONS}$ 

```

8 L'optimisation par essaim de particules binaires (BPSO)

B-PSO est une adaptation de PSO à la résolution des problèmes binaires où chaque particule représente une solution potentielle constituée d'éléments binaires (0ou1). Ainsi, les règles de PSO sont utilisé pour calculer la vitesse d'une particule donnée, cette vitesse est ensuite normalisée dans l'intervalle [0,1] via une fonction sigmoïde comme illustré ci-dessous :

$$V'_{i,d}(t) = sig(v_{i,d}(it)) = \frac{1}{1 + e^{-v_{i,d}(it)}} \quad (6)$$

et la nouvelle position d'une particule i est recalculées par l'équation suivante :

$$x_{i,d}(t + 1) = \begin{cases} 1 & \text{if } r_{id} < sig(v_{i,d}(it+1)) \\ 0 & \text{sinon} \end{cases} \quad (7)$$

Avec r_{id} un nombre réel choisi aléatoirement de l'intervalle $[0,1]$

9 La sélection de CHs basée sur PSO binaire :

L'approche proposée est basée clustering où un ensemble de cluster-chefs (CHs) sont choisis par la méthode BPSO. Notre objectif est d'améliorer les performances du protocole EDEEC en utilisant une méthode d'optimisation globale comme BPSO. Pour ce faire, un réseau hétérogène à trois différents niveaux d'énergie est initialisé. Ensuite, pour trouver l'ensemble de CHs optimisé, l'algorithme BPSO est appliqué avec une fonction objective basé sur l'énergie résiduelle de chaque nœud divisée par l'énergie résiduelle moyenne du réseau dans un round r ,

Pour résoudre le problème de sélection de CHs, le codage binaire des particules est adopté : le 0 dans une particule signifie un nœud membre, le 1 signifie que le nœud correspondant va jouer le rôle d'une passerelle (un CH) comme illustré dans la section suivante.

10 Représentation des particules :

Comme mentionné précédemment, chaque solution ou particule est un vecteur de valeurs binaires. La taille de chaque particule est égale au nombre de nœuds du réseau. Les indices du vecteur particule représentent les IDs des nœuds du réseau, et la valeur correspondante à un nœud donné indique son rôle dans le réseau ; la valeur « 1 » son rôle est un CH « 0 » : le nœud est un nœud membre du cluster le plus proche émettant la plus forte intensité du signal par son CH.

Un exemple de la représentation adoptée est montré par la figure suivante, où le nombre de nœuds du réseau est égal à N.

ID du nœud	1	2	3	4	5	6	7	8	N
Role du nœud	0	1	0	0	0	1	1	0	0

Figure 3.2 : représentation des particules

11 La fonction objective :

La fonction de fitness employée est la somme des énergies résiduelles des CHs d'une particule divisé par $\bar{E}(r)$:

$\bar{E}(r)$ l'énergie résiduelle moyenne du réseau dans le round r calculée comme suit:

$$\bar{E}(r) = \frac{1}{N} \cdot E_{\text{total}} \left(1 - \frac{r}{R}\right) \quad (8)$$

Dans nos test $R = r_{\text{max}}$

12 Conclusion :

Le réseau de capteurs sans fil est une combinaison de communication sans fil et nœuds de capteurs. Le réseau doit être économe en énergie avec stabilité et durée de vie plus longue. Dans cet article, le projet E-DEEC ajoute hétérogénéité dans le réseau en introduisant les super nœuds ayant une énergie supérieure à la normale et les nœuds avancés et leurs probabilités respectives. Les résultats de la simulation montrent que E-DEEC a de meilleures performances en termes de paramètres utilisés.

Chapitre IV :

Simulation et

interprétation des

résultats

1 Introduction :

Dans ce travail, un algorithme de sélection des clusters chefs (CHs) efficace en termes de la conservation d'énergie est proposé pour améliorer le protocole EDEEC. L'algorithme de sélection des CHs proposé est basé sur la méthode d'optimisation par essaims de particules binaire (BPSO).

Le BPSO est intégré au protocole EDEEC pour améliorer ses performances par recherche des CHs optimaux. La sélection de CHs est guidée par une fonction objective, qui comprend en considération l'énergie résiduelle de chaque CH et l'énergie résiduelle moyenne du réseau au cours d'un round.

Les résultats montrent que l'incorporation de l'algorithme BPSO dans la phase de sélection du EDEEC a amélioré considérablement les performances du protocole EDEEC par comparaison à EDEEC et CLEACH.

2 Résultats expérimentaux et discussion

L'analyse expérimentale est réalisée à l'aide MATLAB 2018. Les résultats de la simulation ont été comparés à ceux de CLEACH et EDEEC. Les performances de la méthode proposée ont été évaluées en termes, d'énergie résiduelle du réseau (la durée de vie du réseau), le nombre des nœuds morts et le nombre de paquets délivrés à la station de base au cours des différents tours (rounds).

3 Présentation du logiciel MATLAB

Le nom MATLAB vient de l'anglais MATrixLABoratory, une traduction littérale nous amène à voir MATLAB comme un laboratoire pour manipuler des matrices. Nous reviendrons sur ce point, qui est un élément fondamental du langage MATLAB. La plupart des fonctions définies dans MATLAB sont pour des grandeurs matricielles, et par extension, pour des données tabulées. MATLAB comprend de nombreuses fonctions, de calcul ou de traitements de

données ,d'affichage, de tracés de courbes, de résolution de systèmes et d'algorithmes de calculs numériques au sens large du terme. Toutes ces fonctions sont définies par défaut dans le langage de programmation MATLAB. Ce langage comprend de nombreuses fonctions prédéfinies pour le calcul matriciel, mais pas seulement. De ce fait, les domaines d'application sont extrêmement variés, et l'on peut citer par exemple :

- Le calcul numérique dans le corps des réels ou des complexes.
- Le calcul de probabilités et les statistiques.
- Le calcul intégral ou la dérivation.
- Le traitement du signal.
- L'optimisation.
- Le traitement d'image.
- L'automatisme.

Paramètres initiaux

Tableau 1 : paramètres du réseau.

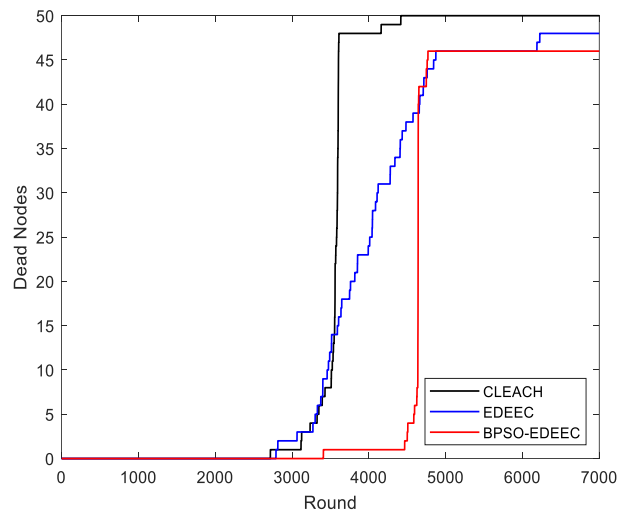
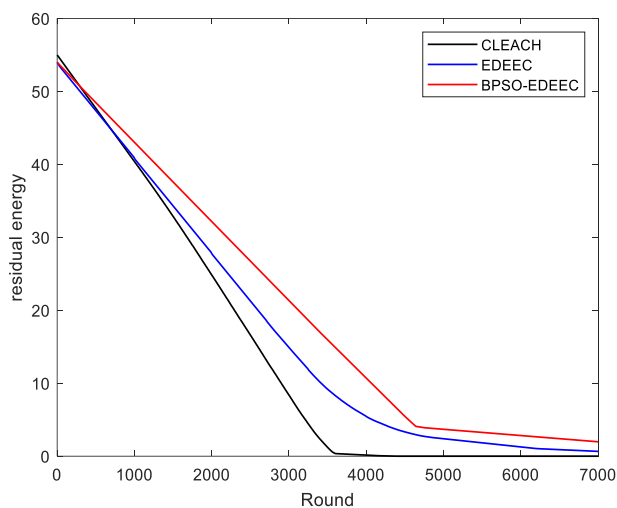
Paramètre	Valeur
Les coordonnées du sink	Sink.x=50, Sink.y=50
Nombre des nœuds	50 et puis 100
Energie initiale de chaque nœud	0.5
Eelec (energie du circuit électronique)	$50 \cdot 10^{-9}$
Emp (énergie d'amplificateur)	$100 \cdot 10^{-12}$
EDA (énergie d'agrégation)	$5 \cdot 10^{-9}$
K(taille d'un paquet de données)	4000

Tableau 2 : paramètres du BPSO

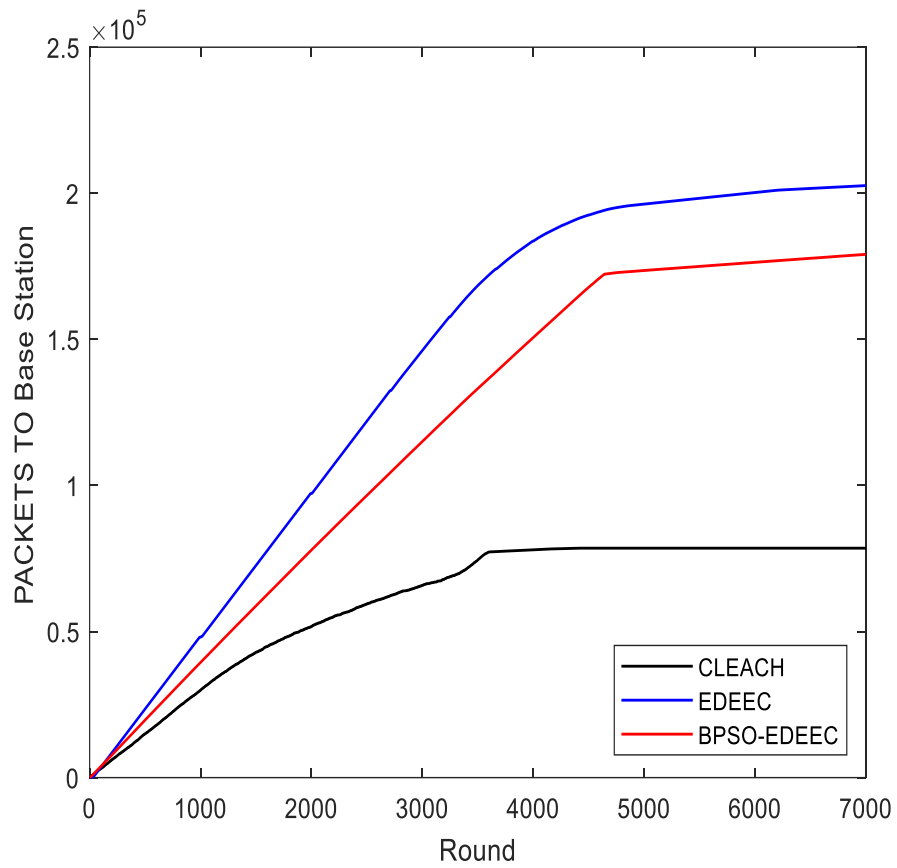
Paramètre	Valeur
Nombre de particules	20
C1=C2	1.49
W(le poids d'inertie)	0.78
Les limites de la vitesse	[-5, 5]

Ci-dessous est l'ensemble des courbes comparatives entre CLEACH, EDEEC et BPSO-EDEEC en terme de l'énergie résiduelle, le nombre de nœuds morts et le nombre de paquets délivrés à la SB au cours des rounds.

Courbes comparatives (Cleach, EDEEC& BPSO-EDEEC)	
Expérience 1 : 50 nœuds dans une zone de détection 100*100 m2	
En termes d'énergie résiduelle	En termes de nœuds morts



En termes du nombre de paquets délivrés à la station de base



Expérience 2 : 100 nœuds dans une zone de détection 500*500 m2

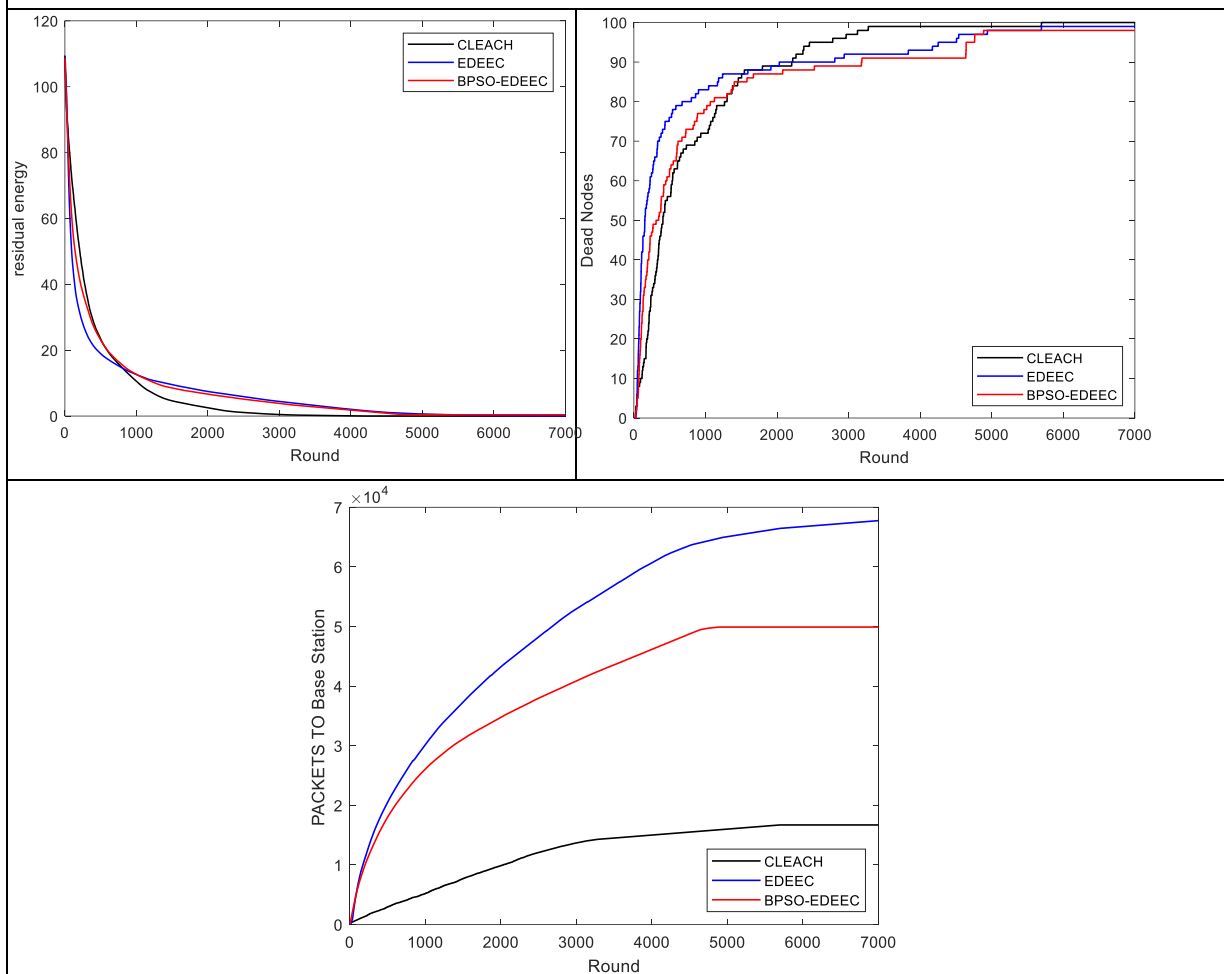


Figure4. 1 : Courbes comparatives (CLEACH, EDEEC& BPSO-EDEEC)

Et ci-dessous sont les données numériques correspondantes aux courbes précédentes de la 1 ère expérience.

Tableau 3 : les données numériques correspondantes aux courbes BPSO-EDEEC de la figure.4.1

Round	Energie résiduelle	Nœuds opérationnels	Time cpu(ms)
3500 1 ^{er} mort	15.9530	49	0.0160
4600 durée stabilité	4.4832	44	0.0150
6900 mort totale	2.1481	4	0

Tableau 4: les données numériques correspondantes aux courbes EDEEC de la figure.4.1

Round	Energie résiduelle	Nœuds opérationnels	Time cpu(ms)
2800 1 ^{er} mort	17.3562	49	0
4000 durée stabilité	5.4514	26	0
5000 mort totale	2.3941	4	0

Tableau 5: Les données numériques correspondantes aux courbes CLEACH de la figure.4.1

Round	Energie résiduelle	Nœuds opérationnels	Time cpu(ms)
2800 1 ^{er} mort	11.6500	49	0
3500 stabilité	1.2108	42	0
4000 mort totale	0.1511	2	0

A partir les courbes et tableaux précédents, il est clair que l'approche proposée basée sur EDEEC modifié en utilisant la méthode d'optimisation BPSO, surpasse CLEACH et EDEEC en terme de la conservation d'énergie, le nombre de paquets délivrés à la station de base et la durée de vie du réseau.

4 Conclusion :

Dans ce travail, Nous nous somme intéressé à l'utilisation d'une méthode d'optimisation globale pour trouver l'ensemble de CHs optimaux dans le protocole de routage des réseaux de capteurs sans fil EDEEC.

La méthode utilisée est l'optimisation par essaim de particules binaires appliquée sur une fonction objective qui prend en considération l'énergie résiduelle des capteurs et l'énergie résiduelle moyenne du réseau dans un round en simulant le principe de base du protocole EDEEC.

La spécificité du protocole proposé BPSO-EDEEC par rapport à EDEEC et que ce dernier se base sur le type de nœuds, leurs énergies résiduelles, leur pourcentage dans le réseau et le rth énergie moyenne du réseau à travers des équations probabilistes. Alors que la méthode proposée recherche les CHs optimaux par un algorithme d'optimisation globale basé sur une fonction objective qui tient en compte l'énergie résiduelle des capteurs, et l'énergie résiduelle moyenne du réseau dans un round r . Les deux protocoles sont appliqués sur des réseaux hétérogènes à trois niveaux d'énergie (trois types de nœuds)

L'étude expérimentale a montré que la méthode proposée surpasse clairement CLEACH, et EDEEC en termes de la durée de vie du réseau, la conservation d'énergie et le nombre de paquets délivrés.

5 Conclusion générale

Le problème du routage a suscité l'attention de la part de la communauté des chercheurs et pourrait être considéré comme une sorte de "problème résolu". Cependant, l'émergence de la technologie sans fil, la miniaturisation et les nouveaux modèles de communication ont introduit de nombreuses nouvelles exigences pour les protocoles de routage, en particulier dans le domaine de l'IoT. L'objectif de ce mémoire est d'enrichir l'état de l'art des protocoles de routage pour les RCSFs. Nous avons ainsi abordé les problèmes et contraintes liés aux RCSFs, leurs domaines d'application, leurs architectures physiques et les différentes topologies de leur installation.

Ensuite, nous avons abordé les différents types de protocoles de routage des RCSFs avec leur classification en quatre catégories en montrant pour chaque protocole sa spécificité, et ses avantages et inconvénients.

Dans le dernier chapitre, nous avons montré notre contribution à l'amélioration du protocole EDEEC avec la méthode d'essaim de particules. Nous avons illustré ses performances par rapport à CLEACH et EDEEC en se basant sur différentes mesures, notamment, l'efficacité en consommation d'énergie, le nombre de nœuds mort et le nombre de paquets délivrés à la station de base.

Dans notre contribution, Le BPSO est intégré dans le protocole EDEEC pour améliorer ses performances par recherche des CHs optimaux. La sélection de CHs est guidée par une fonction objective, qui comprend en considération l'énergie résiduelle de chaque CH et l'énergie résiduelle moyenne du réseau au cours d'un round.

Les résultats ont montré que l'incorporation de l'algorithme BPSO dans la phase de sélection du EDEEC a amélioré les performances du protocole EDEEC par comparaison à EDEEC et CLEACH.

Bibliographie

- [1] A. A. A. Alkhatib and G. S. Baicher, —Wireless sensor network architecture,|| in 2012 International Conference on Computer Networks and Communication Systems (CNCS 2012), 2012.
- [2] S. Verma, N. Sood, and A. K. Sharma, —Design of a novel routing architecture for harsh environment monitoring in heterogeneous WSN,|| IET Wirel. Sens. Syst., vol. 8, no. 6, pp. 284–294, 2018.
- [3] S. Verma, N. Sood, and A. K. Sharma, —QoSprovisioningbased routing protocols using multiple data sink in IoTbased WSN,|| Mod. Phys. Lett. A, vol. 34, no. 29, p. 1950235, 2019.
- [4] E. Alnawafa and I. Marghescu, —New energy efficient multihop routing techniques for wireless sensor networks: Static and dynamic techniques,|| Sensors, vol. 18, no. 6, p. 1863, 2018.
- [5] Md Farhad Hossain, Musbiha Binte Wali, Kumudu S Munasinghe, et Abbas Jamalipour. Three dimensional (3d) underwater sensor network architectures for intruder localization using em wave. Dans 2016 IEEE Wireless Communications and Networking Conference, pages 1–6. IEEE, 2016.
- [6] EZGUI Zahia Yasmina MAKHLOUFI. Etude des mécanismes de gestion des clés dans les réseaux de capteurs sans fils - proposition d'un protocole hybride basé sur la stéganographie. Mémoire de Master. Université A. Mira. Bejaïa, 2012/2013.
- [7] Mohamed BENAZZOUZ. Surveillance de tout point d'une zone d'intérêt _a l'aide d'un réseau de capteur multimédia sans _l. Magistère IRM. Ecole nationale supérieure d'informatique Ouad-Smar. Alger, 2013.
- [8] <http://www-igm.univ-mlv.fr/~dr/XPOSE2006/Bunel/Presentation.html>., Octobre 2019.

- [9] Amina DJIRAL. Implémentation et réalisation d'un algorithme de localisation _ cen trois _ dans les rcsf. Mémoire de Master. Université Abou BakrBelkaid. Tlemcen, 2014/2015.
- [10] Ibrahima Diane. Optimisation de la consommation d énergie par la prise en compte de la redondance de mesure dans les réseaux de capteurs. Thèse de doctorat. Université de Toulouse, 2014.
- [11] Andreas Willig. Wireless sensor networks : concept, challenges and approaches. e& i ElektrotechnikundInformationstechnik, 123(6) :224–231, 2006. 16, 18, 19, 14, 17
- [12] YACINE CHALLAL. Réseaux de Capteurs Sans Fils. Support de cours. 04/05/2016.
- [13] Ivan Stojmenovic. Handbook of sensor networks : algorithms and architectures, volume 49. John Wiley & Sons, 2005.
- [14]<http://igm.univ-mlv.fr/~dr/XPOSE2006/Bunel/Presentation.html#unreseau>
- [15] Messai Mohamed Lamine. Sécurité dans les Réseaux de Capteurs Sans-Fil. Mémoire de Magistère en Informatique. Université Abderrahmane Mira de Bejaia. 2007 / 2008.
- [16] Messai Mohamed Lamine « **Sécurité dans les Réseaux de Capteurs Sans Fil** » Mémoire de Magistère en Informatique, Université Abderrahmane Mira de Bejaia, 2007 / 2008.
- [17] Kaci BADER « **Détection d'intrusions dans les réseaux de capteurs sans fil** » Rapport de stage Master Recherche 2 en Informatique, IFSIC-Rennes 1, 2009/2010.
- [18] ZIANE KHODJA Lilia« **La structuration et la sécurisation des réseaux de capteurs** »Master 2 Recherche Informatique, IFSIC.

- [19] Khenfouci Yamina, Badaoui Amel « **Approche d'authentification dans les réseaux de capteurs pour la pédagogie** » Mémoire de fin d'études, Ecole nationale Supérieure d'Informatique (E.S.I, EX. INI) ,2008/2009.
- [20] https://fr.wikipedia.org/wiki/R%C3%A9seau_de_capteurs_sans_fil
- [21] Ramdani Mohamed, Problèmes de sécurité dans les Réseaux de capteurs avec prise en charge de l'énergie , mémoire de magister, université de saaddahlab de Blida, Novembre 2013.
- [22] S'éverine Sentilles Architecture logicielle pour capteurs sans-fil en réseau Rapport de recherche, Université de Pau et des Pays de l'Adour, juin 2006.
- [23] Diery NGOM. Optimisation de la durée de vie dans les réseaux de capteurs sans fil sous contraintes de couverture et de connectivité. Thèse de Doctorat. L'Université de Haute Alsace (France) et de l'Université Cheikh Anta Diop de Dakar (Sénégal). 2016.
- [24] Ramdani.M, Problèmes de sécurité dans les Réseaux de capteurs avec prise en charge de l'énergie , mémoire de magister, université de saaddahlab de Blida, Novembre 2013 . 74
- [25] Mr SAHRAOUI belkheyr, Etude d'un protocole de routage basé sur les colonies de Fourmis dans les réseaux de capteurs sans fil, Mémoire de fin d'études Pour l'obtention du diplôme de Master en Informatique ,Université Abou Bakr Belkaid–Tlemcen,2012-2013
- [26] S.Lindsey and C. Raghavendra, “PEGASIS: Power-Efficient Gathering in Sensor Information Systems”. Proceedings of the IEEE Aerospace Conference, vol. 3, Big Sky, MT, USA, pp. 1125-1130, March 2002.
- [27] A. Manjeshwar and D. P. Agrawal, “TEEN : A Protocol for Enhanced Efficiency in Wireless Sensor Networks”. 1st International Workshop on Parallel and Distributed Computing Issues in Wireless Networks and Mobile Computing, San Francisco, CA, April 2001.

- [28] Y. Yu, K. Li, W. Zhou, and P. Li, “Trust mechanisms in wireless sensor networks: Attack analysis and countermeasures,” *J. Netw. Comput. Appl.*, vol. 35, no. 3, pp. 867–880, 2012.
- [29] Q. Mamun, “A qualitative comparison of different logical topologies for wireless sensor networks,” *Sensors*, vol. 12, no. 11, pp. 14887–14913, 2012.
- [30] V. Rodoplu and T. H. Ming, “Minimum energy mobile wireless networks”. *IEEE Journal of Selected Areas in Communications*, Vol. 17, No. 8, pp. 1333-1344, 1999.
- [31] J. Lester Hill, “System Architecture for Wireless Sensor Networks”. University of California, Berkeley, 2003.
- [32] H. Qi, P. T. Kuruganti and Y. Xu, “The Development of Localized Algorithms in Wireless Sensor Networks”. Published on 202 SENSORS ISSN, pp. 1424- 8220, July 2010.
- [33] V. Handziski, A. Kopke, H. Karl, and A. Wolisz, “A common wireless sensor network architecture”. Technische Universität Berlin, pp.10-17, July 2003.
- [34] J.N. Al-Karaki and A.E. Kamal, “Routing techniques in wireless sensor networks: a survey. *Wireless Communications*”. IEEE, Decembre 2004.
- [35] Y. Xu, J. Heidemann, and D. Estrin, “Geography-informed Energy Conservation for Ad hoc Routing”. In *Proceedings of the 7th Annual ACM/IEEE International Conference on Mobile Computing and Networking (MOBICOM’01)*, Rome, Italy, pp.70-84, July 2001.
- [36] C.-C. Chiang, H.-K. Wu, W. Liu & M. Gerla – « Routing in clustered multihop, mobile wireless networks with fading channel », dans *Proc. IEEE Singapore Int’l Conf. on Networks (SICON’97)* (Singapore), 1997, p. 197–211.
- [37] C. B. Abbas, R. González, N. Cardenas and L. J. G. Villalba, “A proposal of a wireless sensor network routing protocol”. *Springer Science and Business Media .Telecommunication Systems*. pp. 61–68, March 2008.

- [38] S. Singh and C. Raghavendra, "PAMAS: Power aware multi-access protocol with signaling for ad hoc networks". ACM Computer Communication Review, pp.5-26, July 1998.
- [39] H. Qi, P. T. Kuruganti and Y. Xu, "The Development of Localized Algorithms in Wireless Sensor Networks". Published on 202 SENSORS ISSN, pp. 1424- 8220, July 2010.
- [40] S. Singh and C. Raghavendra, "PAMAS: Power aware multi-access protocol with signaling for ad hoc networks". ACM Computer Communication Review, pp.5-26, July 1998.
- [41] V. Rodoplu and T. H. Ming, "Minimum energy mobile wireless networks". IEEE Journal of Selected Areas in Communications, Vol. 17, No. 8, pp. 1333-1344, 1999. 75
- [42] C. Chong and S. Kumar, "Sensor networks: Evolution, opportunities, and challenges" Proceedings of IEEE, August 2003.
- [43] Junqi Zhang, Vijay Varadharajan, Wireless sensor network key management survey and taxonomy, Journal of Network and Computer Applications, 2010
- [44] L. Doherty, K. S. J. Pister, and L. El Ghaoui, "Convex position estimation in wireless sensor networks". In Proceedings of the IEEE INFOCOM, vol.3, Alaska, pp.1655-1663, 2001.
- [45] Sustainable Wireless Sensor Networks; Seah, W., Tan, Y. Eds.; InTech Open Access Publisher: Rijeka, Croatia, 2010.
- [46] H. Qi, P. T. Kuruganti and Y. Xu, "The Development of Localized Algorithms in Wireless Sensor Networks". Published on 202 SENSORS ISSN, pp. 1424- 8220, July 2010.
- [47] Y. Yu, D. Estrin, and R. Govindan, "Geographical and Energy-Aware Routing: A Recursive Data Dissemination Protocol for Wireless Sensor

Networks,” UCLA Computer Science Department Technical Report, UCLA-CSD TR-01-0023, May 2001.

[48] C. B. Abbas, R. González, N. Cardenas and L. J. G. Villalba, “A proposal of a wireless sensor network routing protocol”.Springer Science and Business Media .Telecommunication Systems. pp. 61–68, March 2008.

[49] C. Intanagonwiwat, R. Govindan and D. Estrin, “Directed diffusion: A scalable and robust communication paradigm for sensor networks”. In the Proceedings of the 6th Annual ACM/IEEE International Conference on Mobile Computing and Networking (MobiCom'00), Boston, MA, August 2000.

[50] S.Saidarao , R.A.R Chandra Sekhar, Proactive and Reactive Routing Protocols In Wireless Sensor Networks, International Journal of Advanced Research in Science, Engineering and Technology Vol. 4, Issue 1 , January 2017

[51]HimadriNathSaha , Debika Bhattacharyya, Bipasha Banerjee, Sulagna Mukherjee, Rohit Singh, Debopam Ghosh, DIFFERENT ROUTING PROTOCOLS ANDTHEIR VULNERABILITIES AND THEIR MEASURES, Proc. of the Intl. Conf. on Advances in Computer Science and Electronics Engineering -- CSEE 2014

[52] WafaAkkari et al. / Procedia Computer Science 52 (2015) 365 – 372

[53] Vishal Kumar Arora, Vishal Sharma, and Monika Sachdeva. A survey on leach and other's routing protocols in wireless sensor network. Optik, 127(16) :659D--6600, 2016.

[54] Amita Yadav, Suresh Kumar,An Enhanced Distributed Energy-Efficient Clustering (DEEC) Protocol for Wireless Sensor Networks,International Journal of Future Generation Communication and Networking, Vol. 9, No. 11 (2016), pp. 49-58.

[55]Y. Sankarasubramaniam I.F. Akyildiz, W. Su and E. Cayirci. A survey on sensor networks. IEEE Com- munications Magazine, 40 :102–114, Aug. 2002.

