

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieure et de la Recherche Scientifique
Université Ahmed Draia - Adrar
Faculté des Sciences et de la Technologie
Département des Mathématiques et Informatique



Mémoire de fin d'étude, en vue de l'obtention du diplôme de Master
en informatique
Option : Systèmes intelligents

Thème

**Une approche bio-inspirée pour un routage efficace
en énergie dans les réseaux de capteur sans fil**

Préparé par
Bakhti Asmaa et Kadi Safia

Encadré par
Mr. Mohammed DEMRI

Année Universitaire 2021/2022

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
People's Democratic Republic of Algeria

Ministry of Higher Education and
Scientific Research
University Ahmed Draia of Adrar
The central library



وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
جامعة أحمد دراية- أدرار
المكتبة المركزية
مصلحة البحث البيوغرافي

شهادة الترخيص بالإيداع

انا الأستاذ(ة): الدامري محمد
المشرف مذكرة الماستر الموسومة بـ :

Une approche bio-inspirée pour un routage efficace en énergie dans les réseaux de capteur sans fil

من إنجاز الطالبة : كادي صفية

و الطالبة: بختي أسماء

كلية : العلوم و التكنولوجيا

القسم : الرياضيات و الإعلام الآلي

التخصص: إعلام آلي (أنظمة ذكية)

تاريخ تقييم / مناقشة: 2022 / 06 / 19

أشهد ان الطلبة قد قاموا بالتعديلات والتصحيحات المطلوبة من طرف لجنة التقييم / المناقشة، وان المطابقة بين
النسخة الورقية والإلكترونية استوفت جميع شروطها.
وإمكانهم إيداع النسخ الورقية (02) والإلكترونية (PDF).

- امضاء المشرف:

ادرار في: 29 جوان 2022

مساعد رئيس القسم:



ملاحظة: لا تقبل أي شهادة بدون التوقيع والمصادقة.



Remerciements

Nous remercions en premier lieu au DIEU pour nous avoir donné la force de réaliser ce travail.

*Nous tenons à remercier tout d'abord nos chers parents pour leur soutien et leurs encouragements durant toutes les années d'études. Nos remerciements et notre gratitude se vers Mr. **MOHAMMED DEMRI** qui nous a encadré et guidé pendant notre étude et réalisation de ce projet avec un intérêt constant qu'il a bien voulu porter à notre travail. Notre respect et notre gratitude vont également aux membres du jury qui nous ont fait l'honneur de juger ce travail et qui par leur disponibilité, leurs observations et leurs rapports nous ont permis d'enrichir notre travail. Nos remerciements et notre respect à tous nos enseignants durant les années des études. Sans oublier bien sûr de remercier profondément tous ceux qui ont Contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail*

Dédicace

Je dédie ce travail

À mes chers parents

À Ma mère Une âme forte et douce "Que Dieu ait pitié de ton âme"

qui ont toujours été là pour moi.

Mon père, la personne la plus chère qui il ne viendra jamais comme lui et personne

ne prendra sa place

*Mes sœurs **Chahinaz, Leila** et **Ferdousset** la marâtre **Aicha**, , qui*

était comme mon amie

*À mes frères **Zakaria** et **Younes**, et je souhaite une bonne réussite dans leur vie*

À toute ma belle-famille

Et ainsi qu'à tous mes amis

Je vous aime

Asmaa



Dédicace

*Je dédie les fruits de ce travail à ceux qui m'ont appris que
l'ambition est la base du succès pour une personne au
grand cœur*

*Et une longue patience **Abi Hajj** que Dieu se protège.*

*À mon ange dans la vie à celui qui m'a porté neuf au sens de
l'amour, de la tendresse et de l'optimisme à qui*

*Elle m'a guidé avec amour et m'a nourri avec tendresse
ma chère mère, que Dieu la protège et que Dieu
soit long dans sa vie.*

Je t'aime, maman

*À ceux qui partagent mes joies et mes peines et
partagent ma vie avec mes sœurs et nièces*

*À mes copines et compagnons sur mon chemin, chacun avec
son nom et sa position merci à tous*

Safia



Résumé

Le problème de l'énergie est l'un des problèmes majeurs dans les réseaux de capteurs sans fil (RCSF). Par conséquent, il est nécessaire de mettre en jeu des protocoles de routage efficaces en énergie qui contribuent à l'optimisation de la consommation énergétique dans les RCSFs. L'algorithme de recherche du coucou est l'une des techniques d'optimisation modernes qui peuvent remplacer nombreuse techniques traditionnelles utilisées, où un coucou utilise une stratégie de vols de Lévy basée sur la manière de pondre des œufs pour extraire une solution au problème. Dans ce travail, nous proposons un nouveau protocole de routage hiérarchique hybride bio-inspiré basé sur l'algorithme de recherche du coucou nommé HCSGDP, pour limiter la consommation d'énergie élevée et améliorer la topologie du réseau grâce à un mécanisme de clustering efficace et fiable. Notre protocole proposé tire parti des avantages de vols de Lévy et la distribution gaussienne pour améliorer la recherche globale et locale respectivement. Les performances du protocole proposé sont comparées au protocole LEACH et LEACH-C, et les résultats expérimentaux montrent que HCSGDP a des meilleures performances dans presque toutes les métriques, notamment en termes de consommation d'énergie.

Mots clés : énergie, réseaux de capteurs sans fil, protocoles de routage, algorithme de recherche, topologie de réseau.

Abstract

The energy problem is one of the major issues in Wireless Sensor Networks (WSNs). Therefore, there is a need to implement energy efficient routing protocols that contribute to power consumption optimization. energy in RCSFs. The cuckoo search algorithm is one of the modern optimization techniques that can replace many traditional techniques used, where a cuckoo uses a Levy flights strategy based on how to lay eggs to extract a solution to the problem. In this work, we propose a new bio-inspired hybrid hierarchical routing protocol based on the cuckoo search algorithm named HCSGDP, to limit the high power consumption and improve the network topology through an efficient clustering mechanism and reliable. Our proposed protocol leverages the advantages of Levy flights and Gaussian distribution to improve global and local search respectively. The performance of the proposed protocol is compared to LEACH and LEACH-C protocol, and the experimental results show that HCSGDP has better performance in almost all metrics, especially in terms of power consumption.

Key words: energy, wireless sensor networks, routing protocols, search algorithm, network topology.

Sommaire

Remerciements.....	I
Dédicace	II
Résumé.....	IV
Liste des tableaux.....	VIII
Liste des figures	X
Liste des Abréviation.....	XI
Introduction générale.....	1

Chapitre I :Introduction aux réseaux de capteurs sans fil

I.1 Introduction.....	5
I.2. Les capteurs.....	5
I.2.1 Définition.....	5
I.2.2. Architecteur d'un capteur	6
I.2.3.Caractéristiques d'un capteur	7
I.2.4. Classification des capteur	7
I.3. Réseaux de Capteurs sans fil (RCSF)	8
I.3.1. Définition d'un RCSF ou WSN (Wireless Sensor Network)	8
I.3.2. Architecture d'un réseau de capteurs sans fil	8
I.3.2.1 Les types d'architecture des RCSF.....	9
I.3.3.Caractéristiques d'un réseau de capteurs sans fil	10
I.3.4.Contraintes de conception des RCSF	11
I.3.4.1. Contraintes liées à l'application.....	11
I.3.4.2 Ressources limitées.....	11
I.3.4.3 Bande passante limitée.....	11
I.3.4.4. Topologie dynamique.....	11
I.3.4.5 Agrégation de donnée.....	12
I.3.4.6. Contraintes de simplicité.....	12
I.3.5.Consommation d'énergie dans les RCSF	12
I.3.5.1 Energie de capteur.....	12

I.3.5.2 Energie de traitement.....	12
I.3.5.3 Energie de communication.....	13
I.3.6. Techniques de minimisation de la consommation d'énergie.....	13
I.4. Pile protocolaire	13
I.4.1. Rôle des couches	14
I.4.2. Plan de gestion.....	15
I.5. Collection des informations	15
I.5.1. Collecte d'informations à la demande	15
I.5.2. Suite à un événement.....	16
I.6. Domaines d'applications de réseaux de capteurs son fil.....	17
I.6.1 Applications militaires.....	17
I.6.2 Applications environnementales.....	17
I.6.3 Applications médicales.....	18
I.7. Conclusion.....	18

Chapitre II :Les protocoles de routage dans les RCSF

II.1. Introduction.....	20
II.2. Le routage dans les RCSF.....	20
II.2.1. Les type de routage	20
II.2.1.1 Protocole proactif.....	20
II.2.1.2. Protocole réactif.....	20
II.2.2. Les protocoles de routage.....	21
II.2.2.1 Les protocoles de routage plat (non hiérarchiques).....	21
II.2.2.2 Protocoles de routage hiérarchiques.....	23
I.3. Conclusion.....	29

Chapitre III :La recherche du coucou via les vols de Levy et approche proposée

III. 1. Introduction	31
III.2.1 Inspiration.....	31
III.2.2. Algorithme de recherche du Coucou (CS).....	32
III.2.3. Levy Flight.....	33
III.2.4 Initialisation de l'algorithme.....	34

III.2.5 Description de l'algorithme	34
III.2.6 Pseudo-code del'algorithme	35
III.2.7 les avantages de l'algorithme	36
III.3 Algorithme proposé	36
III.3.1 Hypothèses	36
III.3.2 Description générale et les objectifs de l'algorithme proposé	37
III.3.3 Description détaillée de l'algorithme proposé	38
III.3.3.1 Types des nœuds utilisés par notre algorithme proposé	38
III.3.3.2 Déroulement de l'algorithme	39
III.3.3.2.1 Phase d'initialisation (setup-phase).....	39
III.4.Conclusion	41

Chapitre IV : Implémentation et discussion

IV.1 Introduction	44
IV.2 Environnement de travail	44
IV.3. Modèle de système	45
IV.3.1. Modèle de réseau	45
IV.3.2. Modèle de dissipation d'énergie	45
IV.3.3. Caractéristiques matérielles pour l'environnement MATLAB	46
IV.4.Description et paramètres de simulation	46
IV.5. Simulation des protocoles de routage.....	48
IV.6.Discussion et résultats	53
IV.7 Conclusion.....	54

Conclusion générale

Références bibliographiques

Liste des figures

Chapitre I

Figure I. 1: Quelque exemple des capteurs.....	6
Figure I. 2: Architecteur d'un capteur sans fil.....	7
Figure I. 3: Architecture d'un réseau de capteur sans fil.....	9
Figure I. 4 : Les types d'architecture des RCSF.....	9
Figure I. 5 : Architecture plate.....	9
Figure I. 6: Architecture hiérarchique.....	10
Figure I. 7: Les techniques de conservation d'énergie.....	13
Figure I. 8: La pile protocolaire des RCSF.....	14
Figure I. 9: Collecte d'informations à la demande.....	16
Figure I. 10: Application orientée événement.....	16
Figure I. 11: Domaines d'application de réseaux de capteurs son fil.....	17

Chapitre II

Figure II. 1: Les classes de protocoles de routage.....	21
Figure II. 2: Fonctionnement du protocole SPIN.....	22
Figure II. 3: Architecture de communication du protocole LEACH.....	23
Figure II. 4: Formation des clusters dans LEACH.....	24
Figure II. 5: La phase d'initialisation (set-up).....	25
Figure II. 6: Répartition du temps dans la phase de transmission.....	26

Chapitre III

Figure III. 1: un œuf de coucou dans un nid d'hôte.....	32
Figure III. 2: Lévy Flight.....	34
Figure III. 3: Marches Gaussien vs Lévy Flight.....	37
Figure III. 4: L'organigramme du protocole proposé.....	40

Chapitre IV

Figure IV. 1: Modèle de consommation d'énergie.....	46
Figure IV. 2: Interface de simulation.....	47
Figure IV. 3: Interface de Curve de simulation.....	48
Figure IV. 4: La consommation d'énergie.....	50

Figure IV. 5: Nombre des nœuds vivants	50
Figure IV. 6: Nombre des nœuds morts	51
Figure IV. 7: Les ronds relatif au premier nœud mort et demi-nœuds morts et derniers nœuds morts.....	52
Figure IV. 8: Nombre de paquet reçu parla station de base.	53

Liste des tableaux

Tableau III .1: comparaison entre recherche du coucou et HCSGDP	38
Tableau IV .1: Caractéristiques matérielles	46
Tableau IV.2: Les paramètres de simulation	49
Tableau IV.3: Les paramètres de l'algorithme HCSGDP	49
Tableau IV.4: la consommation énergétique	49
Tableau IV.5: Le nombre paquets reçu par la station de base dans certain rond.	52

Liste des Abréviations

RCSF: réseaux de captures sans fil

WSN :Wireless Sensor Network

BS: base station

CH: Cluster Head

CS: Cuckoo Search algorithm

SPIN: Sensor Protocols for Information via Negotiation

PEGASIS :Power Efficient Gathering in Sensor Information Systems

DSDV :Destination Sequenced Distance Vector

TEEN et APTEEN: Adaptive Threshold-sensitive Energy Efficient sensor Network protocol.

HT: Hard threshold

ST: Soft threshold

OLSR: optimized link State ROUTING.

GSR: Global State Routing.

HEED: Hybrid Eenergy-Efficient, and Distributed approach

LEACH: Low-Energy Adaptive Clustering Hierarchy

LEACH-C: Low-Energy Adaptive Clustering Hierarchy Centralized

TDMA:Time Division Multiple Access

ID :IDentifiant

GUIs:Graphical User Interfaces

IHM: Interface Homme Machine

HCSGD : protocole hybride de routage basé sur l'algorithme CuckooSearch et la distribution Ga

A large, light orange decorative frame with rounded corners and a subtle gradient, containing the text. The frame has a thin orange border and a small notch on the left and right sides.

***Introduction
générale***

Introduction générale

En moins d'une décennie, les technologies de l'information sont devenues une partie importante de nos vies. La capacité des ordinateurs avancés à effectuer des opérations complexes, ainsi que les progrès des réseaux informatiques et des systèmes embarqués, ont affecté de nombreux aspects de la vie humaine. -les caméras à résolution connectées aux ordinateurs sont utilisées dans de nombreuses applications de sécurité, par exemple, elles sont utilisées pour surveiller les installations et les aéroports importants, en plus de surveiller le trafic et autres.

De nombreux chercheurs et entreprises ont été attirés par le développement de réseaux de capteurs sans fil (RCSF), car ils ont été convaincus que ce type de réseau deviendra l'une des technologies dominantes dans les prochaines années, et puisque les capteurs précédents souffrent d'un coût élevé et d'une grande taille, et cela est ce qui a attiré les scientifiques vers la recherche sur la possibilité de construire et de développer des capteurs plus petits et moins coûteux appelés nœuds de capteurs, qui sont équipés de capteurs, de microprocesseurs intégrés et d'émetteurs-récepteurs sans fil, et ont donc non seulement des capacités de détection (par exemple, température, humidité, pression), mais aussi des capacités de traitement de données et de communication. Il communique sur une courte distance via un support sans fil, par rapport aux réseaux de communication sans fil traditionnels.

Les réseaux de capteurs sans fil sont conçus pour fonctionner en groupe et collaborer pour transmettre les données collectées à un point central appelé station de base ou (sink), mais ils sont confrontés à un ensemble de défis, notamment le routage, l'énergie consommée par les nœuds, la sécurité, l'agrégation des données, la mobilité inattendue des nœuds, etc... Ils sont parfois déployés sans discernement dans des zones hostiles et inexplorées, il est donc indispensable d'avoir une stratégie efficace qui tienne compte de la puissance du réseau pour augmenter sa durée de vie en réduisant les pertes de puissance.

Les chercheurs sont fortement impliqués dans la conception de solutions économes en énergie ; cependant, la durée de vie du réseau peut également être prolongée en planifiant des approches écoénergétiques. Il est bien admis que

l'approche hiérarchique basée sur les clusters est un moyen efficace d'économiser de l'énergie pour les RCSF distribués par rapport à d'autres types de routage, à savoir le routage topologique plat et le routage géographique.

Dans un RCSF basé sur un cluster, les nœuds capteurs sont divisés en plusieurs groupes appelés clusters avec un chef de groupe appelé Cluster Head (CH). Tous les nœuds de capteur détectent les données et les envoient à leur CH correspondant, qui les envoie finalement à la station de base (BS) pour un traitement ultérieur. Le clustering présente divers avantages significatifs par rapport aux schémas classiques. Tout d'abord, l'agrégation des données est appliquée aux données reçues de divers nœuds de capteur au sein d'un cluster ; pour réduire la quantité de données à transmettre à la BS, les besoins en énergie diminuent donc fortement. Deuxièmement, la rotation des CH permet d'assurer une consommation d'énergie équilibrée au sein du réseau, ce qui évite que des nœuds spécifiques meurent par manque d'énergie.

Notre objectif est d'introduire un nouveau protocole de routage économe en énergie dans le domaine des RCSF qui limite la consommation d'énergie élevée et améliore la topologie du réseau grâce à un mécanisme de clustering efficace et fiable.

Dans ce mémoire, nous proposons un nouveau protocole de routage hiérarchique hybride bio-inspiré basé sur l'algorithme de recherche du coucou (CS) via les vols de Lévy et la distribution Gaussien. Les deux approches sont utilisées pour améliorer les capacités de l'algorithme en termes de recherche globale et locale simultanément.

Ce mémoire est organisé en quatre chapitres selon un plan méthodologique suivant:

Chapitre1:nous présenterons une introduction générale aux réseaux de capteurs sans fil, présente sa principale caractéristique, ses enjeux ainsi que ses domaines d'application.

Chapitre2 : Dans ce chapitre, nous examinerons certains protocoles de routage et leurs classifications comme LEACH, LEACH-C, PEGASIS et HEED.

Chapitre3 : est divisé en deux parties, dans la première partie nous expliquons le principe de la recherche de coucou et dans la deuxième partie, nous présentons notre protocole proposé.

Chapitre4 : nous donnons un aperçu de l'environnement MATLAB, les résultats de simulation de nos protocoles proposés ainsi que la comparaison et l'analyse de différentes métriques telles que le débit vers la station de base, le nombre de rounds et l'énergie résiduel.

Ce travail est terminé par une conclusion générale et une bibliographie.

Chapitre I :
Introduction aux
réseaux de capteurs
sans fil

I.1. Introduction

Les réseaux de capteurs sans fil sont l'une des technologies très importantes utilisées dans les communications aujourd'hui et ce qui est intéressant à propos des réseaux de capteurs, c'est que les nœuds sont souvent constitués d'un grand nombre de micro-capteurs capables de collecter et de transmettre des données environnementales de manière indépendante, de sorte que chaque nœud est capable de surveiller son environnement et de répondre si nécessaire. En envoyant les informations collectées à un ou plusieurs points de collecte, à l'aide d'une connexion sans fil.

Dans ce chapitre, nous présentons des réseaux de capteurs sans fil avec un plan systématique que nous avons adopté. On commence par la définition du capteur, sa structure, ses types, etc. Ensuite, on présente les RCSF, leur structure de communication, différentes contraintes ainsi que leurs différents types d'applications, et terminons par une conclusion simple.

I.2. Les capteurs

I.2.1 Définition

Un capteur est un dispositif électronique servant à la surveillance et au contrôle d'un environnement ou d'un phénomène donné (température, lumière, pression, etc.). Ce dispositif est capable d'acquérir et traiter des informations et de les communiquer à ses voisins. L'alimentation de chacun des capteurs est assurée par une batterie basse capacité.[1]

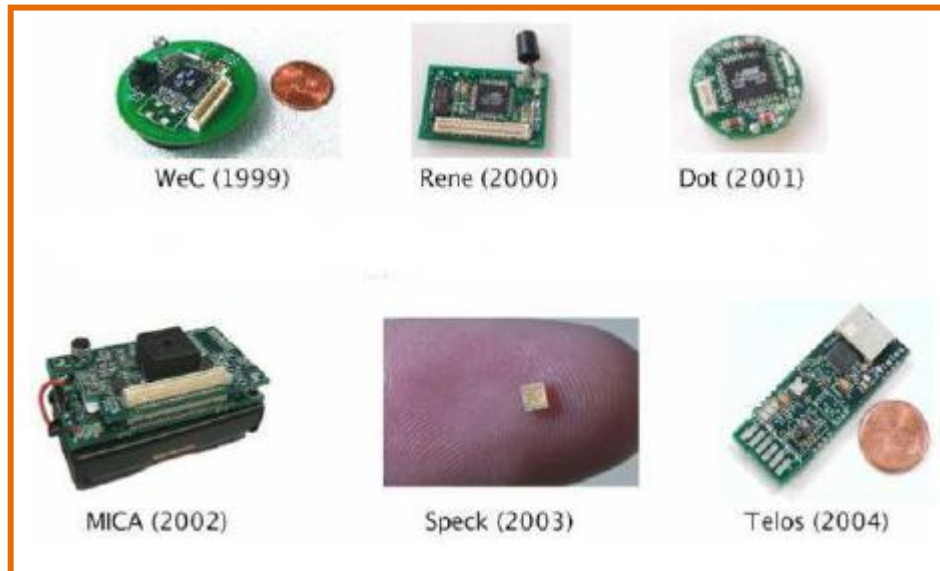


Figure I. 1: Quelques exemple des capteurs

I.2.2. Architecteur d'un capteur

Il y a quatre principales unités, qui sont présentées ci-dessous :[1]

- L'unité d'acquisition : elle est généralement composée de deux sous-unités qui sont les capteurs et les convertisseurs analogique-numérique ADCs (Analog-Digital Converter). Les capteurs obtiennent des mesures sur les paramètres environnementaux et les transforment en signaux analogiques. Les ADCs convertissent ces signaux analogiques en signaux numériques.
- L'unité de traitement : elle est composée de deux interfaces qui sont une interface avec l'unité d'acquisition et une autre avec le module de transmission. Elle contrôle les procédures permettant au nœud de collaborer avec les autres nœuds pour réaliser les tâches d'acquisition et stocker les données collectées.
- Un module de communication: il est composé d'un émetteur/récepteur permettant la communication entre les différents nœuds du réseau via un support de communication radio.
- Batterie : elle alimente les unités que nous avons citées et elle n'est généralement ni rechargeable ni remplaçable. La capacité d'énergie limitée au niveau des capteurs représente la contrainte principale lors de conception de protocoles pour les réseaux de capteurs.

- Il existe des capteurs qui sont dotés d'autres composants additionnels tels que les systèmes de localisation GPS (Global Position System).

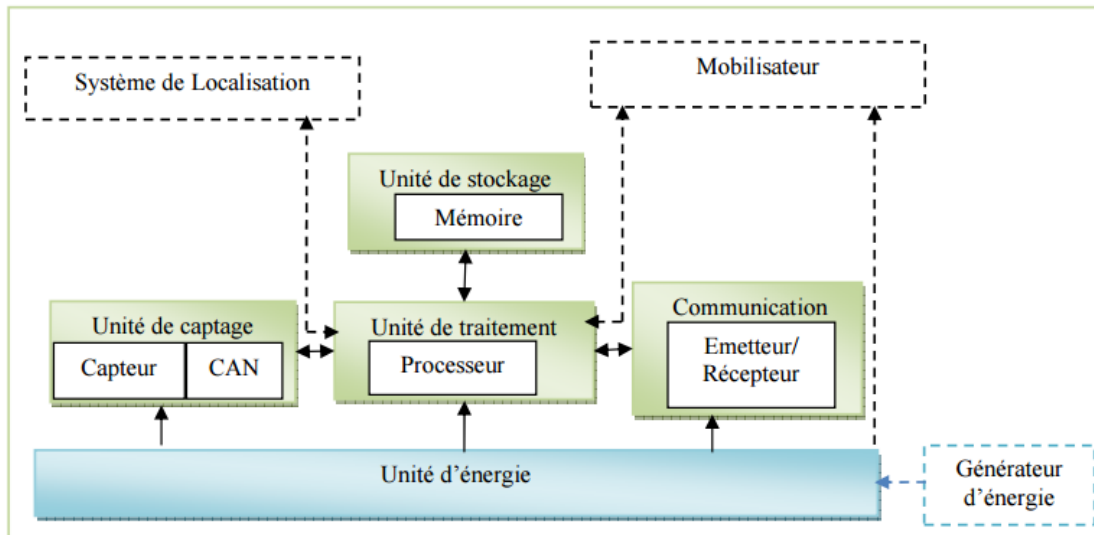


Figure I. 2: Architecteur d'un capteur sans fil.

I.2.3. Caractéristiques d'un capteur

- Capable de communiquer.
- Capable de calculer.
- Capte toujours.
- Préposition / déploiement aléatoire.
- Limitation de la durée de vie des batteries.
- Densité (petit / grand nombre).
- L'étendue de la mesure : c'est la différence entre le plus petit signal détecté et le plus grand perceptible sans risque de destruction pour le capteur.
 - La sensibilité : c'est la plus petite variation d'une grandeur physique que peut détecter un capteur.

I.2.4. Classification des capteur

Les capteurs ont plusieurs modes de classification :

o Capteurs passifs: Ils n'ont pas besoin d'apport d'énergie extérieure pour fonctionner (exemple : thermistance, potentiomètre, thermomètre à mercure...). Ce sont des capteurs modélisables par une impédance. Une variation du phénomène physique étudié (mesuré) engendre une variation de l'impédance.

o Capteurs actifs : Ils sont constitués d'un ensemble de transducteurs alimentés (exemple: chronomètre mécanique, jauge d'extensomètre appelée aussi jauge de contrainte, gyromètre...). Ce sont des capteurs que l'on pourrait modéliser par des générateurs comme les systèmes photovoltaïques et électromagnétiques.

Ainsi ils génèrent soit un courant, soit une tension en fonction de l'intensité du phénomène physique mesuré.

Les capteurs peuvent aussi faire l'objet d'une classification par type de sortie:

o Capteurs analogiques : Le signal des capteurs numériques peut être du type : sortie tension, sortie courant, règle graduée ... etc.

Quelques capteurs analogiques typiques : Capteur à jauge de contrainte, LVDT...etc.

o Capteurs numériques: Le signal des capteurs numériques peuvent être du type : Train d'impulsions avec un nombre précis d'impulsions ou avec une fréquence précise, code numérique binaire, Bus de terrain ... etc.

Quelques capteurs numériques typiques : Les capteurs incrémentaux, Les codeurs absolus.[2]I.3. Réseaux de Capteurs sans fil (RCSF)

I.3.1. Définition d'un RCSF ou WSN (Wireless Sensor Network)

Un réseau de capteurs sans fil (RCSF) est un réseau sans infrastructure et auto-organisé. Il est composé d'un groupe de nœuds capteurs, qui communiquent par ondes électromagnétiques. Chaque nœud de capteur agit à la fois comme un capteur et un routeur sans fil. Les fonctions de base du RCSF sont la détection, la collecte de données, le traitement de l'information sur les objets contrôlés et le transfert de l'information à la station de base.[3]

I.3.2. Architecture d'un réseau de capteurs sans fil

Les nœuds collectent des informations de leur environnement puis les acheminent vers une station de contrôle appelée « sink ». Cette dernière récupère les données, les stocke puis les transmet aux utilisateurs finaux.

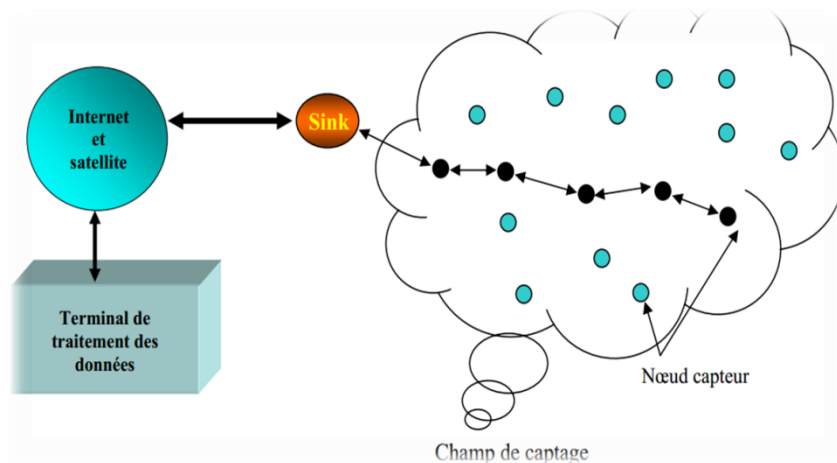


Figure I. 3: Architecture d'un réseau de capteur sans fil

I.3.2.1 Les types d'architecture des RCSF

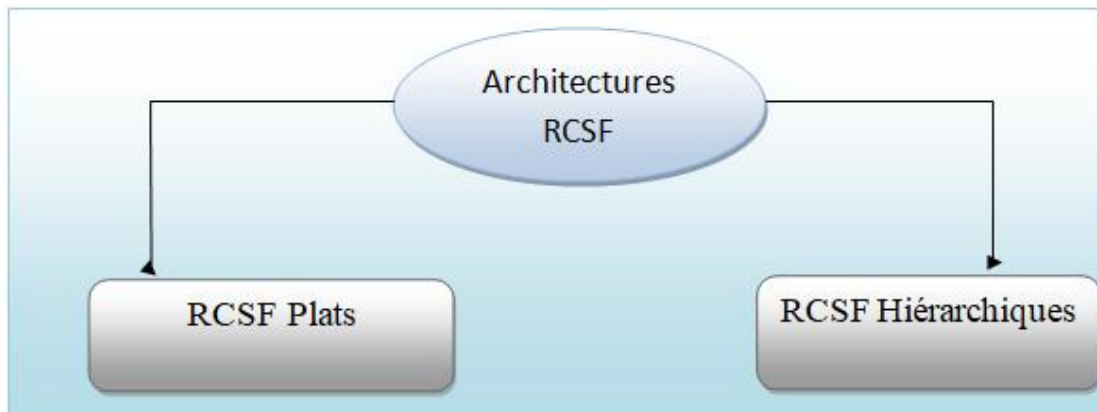


Figure I. 4 : Les types d'architecture des RCSF

✍ Les réseaux de capteurs sans fil plats

Un réseau de capteurs sans fil plat est un réseau homogène, où tous les nœuds sont identiques en termes de batterie et de complexité du matériel, excepté le Sink qui joue le rôle d'une passerelle et qui est responsable de la transmission de l'information collectée à l'utilisateur final. Selon le service et le type de capteurs, une densité de capteurs élevée (plusieurs nœuds capteurs/m²) ainsi qu'une communication multi-saut peut être nécessaire pour l'architecture plate. En présence d'un très grand nombre de nœuds capteurs, la scalabilité devient critique. Le routage et le Medium Access Control (MAC) doivent gérer et organiser les nœuds de façon très efficace en termes d'énergie.[4]

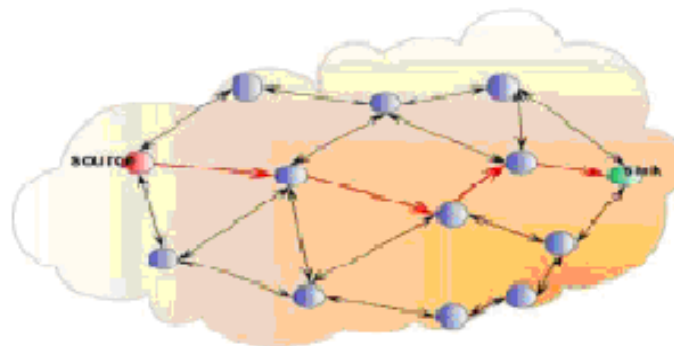


Figure I. 5 : Architecture plate

✍ Les réseaux de capteurs sans fil hiérarchiques

Ont été introduites en divisant les nœuds en plusieurs niveaux de responsabilité. L'une des méthodes la plus employée est le Clustering, avec laquelle le réseau est partitionné en groupes appelés clusters. Un cluster est constitué d'un chef (Cluster Head) et de ses membres. Selon l'application, les membres peuvent être des voisins directs ou indirects du Cluster Head afin de faciliter l'intégration d'un mécanisme d'agrégation dans le système.[5]

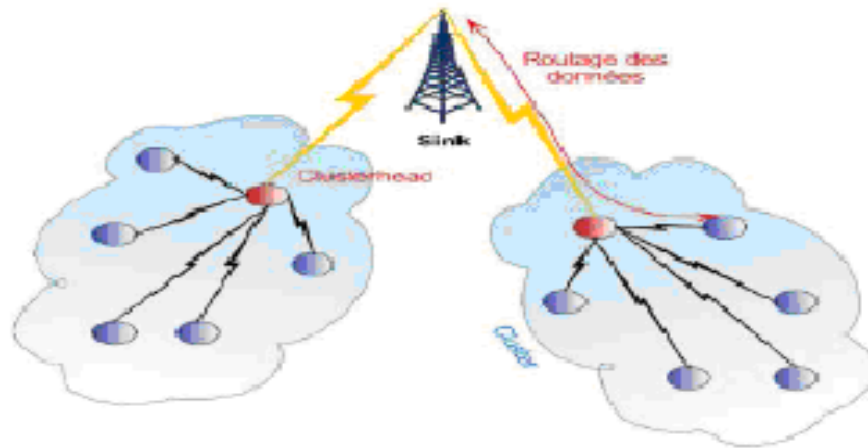


Figure I. 6: Architecture hiérarchique

I.3.3. Caractéristiques d'un réseau de capteurs sans fil

L'auto-configuration des nœuds capteurs

❖ Efficacité énergétique

Les nœuds sont situés à distance et n'ont pas accès à l'alimentation directe. Alors, ils ont une capacité de puissance limitée. Les piles sont utilisées comme source d'alimentation.

❖ Tolérance à la faute

Le nœud est sujet à l'échec. RCSF est résilient, c'est-à-dire qu'il devrait avoir la capacité de maintenir les fonctionnalités de réseau en cas de défaillance des nœuds.

❖ Mobilité des nœuds

Certains nœuds nécessitent une mobilité pour augmenter l'efficacité de la communication ou selon le type d'applications.

❖ Hétérogénéité des nœuds

Les nœuds de RCSF sont de types différents mais doivent travailler en coopération dans un seul réseau.

❖ Évolutivité

Dans RCSF Les nœuds sont densément déployés. Donc, RCSF devrait être évolutif pour gérer grand nombre de nœuds.

❖ **Réactivité**

RCSF devrait être capable de s'adapter rapidement à la topologie changeante à travers quels nœuds de capteur sont connectés.

❖ **.La capacité de communication**

Dans RCSF, il devrait être rapidement informé de la station de base ou du nœud de la passerelle,

Lorsque tout nœud ne parvient pas à échanger des données avec d'autres nœuds.

I.3.4.Contraintes de conception des RCSF

I.3.4.1. Contraintes liées à l'application

Il est impossible aujourd'hui de créer un réseau de capteurs capable de répondre aux besoins de toutes les applications potentielles. On peut relever des mesures pour une infinité de situations et dans des environnements très variables tout en ayant une concentration faible ou forte des capteurs. Dans certains cas, certaines applications nécessitent la mise en place de nombreux capteurs.

I.3.4.2 Ressources limitées

En plus de l'énergie, les nœuds capteurs ont aussi une capacité de traitement et de mémoire limitée. En effet, les fabricants souhaitent implémenter des capteurs simples, petits et bon marché qui peuvent être achetés en vrac.

I.3.4.3 Bande passante limitée

Afin de minimiser l'énergie consommée lors de transfert de données entre les nœuds, les capteurs opèrent à bas débit. En général, on utilise un débit de quelques dizaines de Kb/s.

I.3.4.4. Topologie dynamique

La topologie des réseaux de capteurs peut changer au cours du temps pour les raisons suivantes [1]:

❖ Les nœuds capteurs peuvent être déployés dans des environnements hostiles (champ de bataille par exemple), la défaillance d'un nœud capteur est, donc très probable.

❖ Un nœud capteur peut devenir non opérationnel à cause de l'expiration de son énergie. Dans certaines applications, les nœuds capteurs et les stations de base sont mobiles.

I.3.4.5 Agrégation de donnée

Dans les réseaux de capteurs, les données produites par les nœuds capteurs voisins sont très corrélées spatialement et temporellement. Ceci peut engendrer la réception par la station de base d'informations redondantes. En réduisant la quantité d'informations redondantes transmises par les capteurs, on peut réduire la consommation d'énergie du réseau et ainsi améliorer sa durée de vie.

I.3.4.6. Contraintes de simplicité

Enfin des protocoles et des mécanismes simples et légers doivent être la marque de fabrique du réseau de capteurs. Ces derniers sont de machines largement plus faibles qu'une machine de bureau ou même que des téléphones portables.

I.3.5. Consommation d'énergie dans les RCSF

La première étape de la conception d'un système énergétique de capteur consiste à analyser les caractéristiques de consommation d'énergie d'un nœud de capteur sans fil.

L'analyse de l'énergie des nœuds capteurs est très importante pour identifier et résoudre les problèmes du système énergétique pour permettre une optimisation efficace.

L'énergie consommée par le nœud capteur est principalement due aux opérations suivantes Détection, traitement et communication[10]

I.3.5.1 Energie de capteur

Les sources de consommation d'énergie des nœuds pour les opérations de détection ou de capture sont : l'échantillonnage, la conversion analogique-numérique, le traitement de signal et l'activation de la sonde de capture [11].

I.3.5.2 Energie de traitement

L'énergie de traitement se compose de deux types d'énergie : l'énergie commutation et fuite d'énergie. L'énergie de commutation est déterminée par la tension alimentation et capacité totale commutées au niveau du logiciel (en exécutant un logiciel).

D'autre part, l'énergie de fuite 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 communiquer.

I.3.5.3 Energie de communication

L'énergie de communication se décline en trois parties : l'énergie de réception, l'énergie de l'émission et l'énergie en état de veille. Cette énergie est déterminée par la quantité des données à communiquer et la distance de transmission, ainsi que par les propriétés physiques du module radio. 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.

I.3.6. Techniques de minimisation de la consommation d'énergie

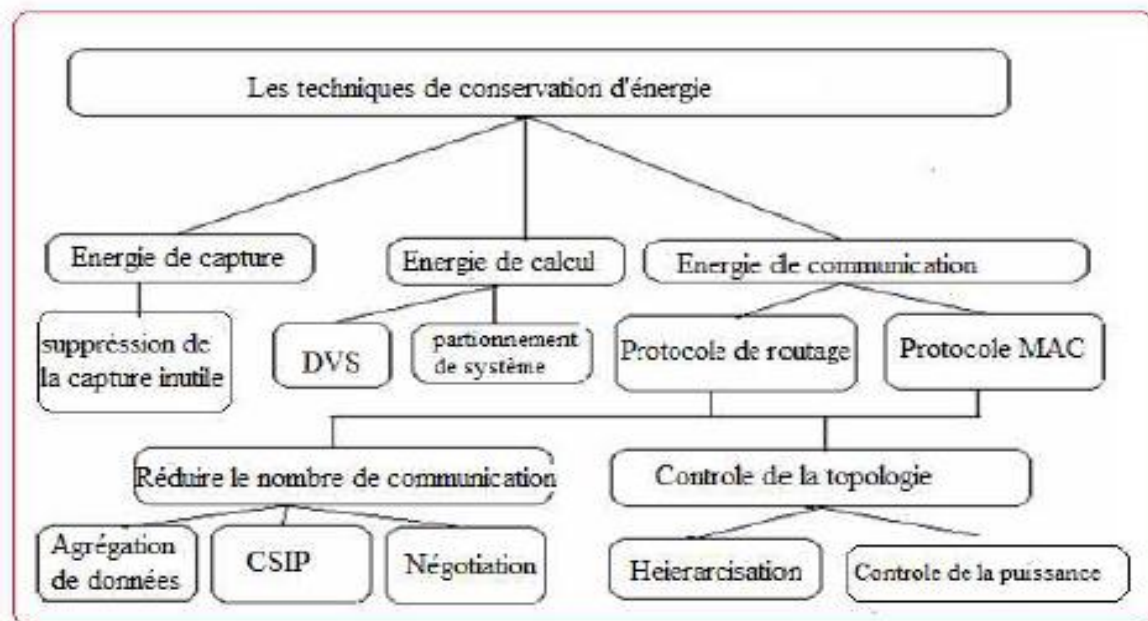


Figure I. 7: Les techniques de conservation d'énergie

I.4. Pile protocolaire

Pile protocolaire utilisée par les nœuds capteurs pour communiquer avec la station de base. Selon Akyildiz [1], Pile protocolaire de RCSF est presque comme Pile protocolaire de réseau traditionnelle avec plusieurs couches : application, transport, Réseau, liaison de données, couche physique.[9]

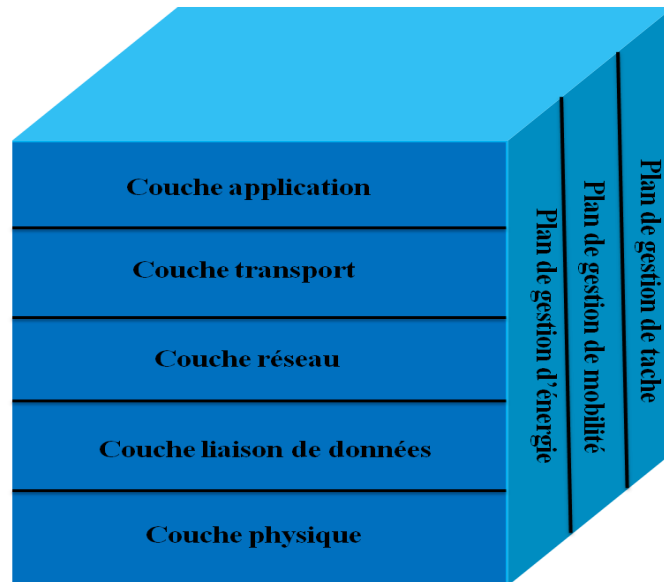


Figure I. 8: La pile protocolaire des RCSF

I.4.1. Rôle des couches

❖ Couche physique

Les principales responsabilités de la couche physique sont la sélection de la fréquence, la génération de la fréquence porteuse, la détection du signal, la modulation et le cryptage des données [8].

❖ Couche liaison de données

Effectue les tâches de multiplexage de flux de données, de détection de trame de données, d'accès au support et de contrôle d'erreur [8].

❖ Couche réseau

est responsable du routage des informations, c'est-à-dire du calcul du chemin de transmission de données le plus efficace de la source à la destination. La conception de la couche réseau dans les RCSF prend également en compte l'efficacité énergétique, la communication centrée sur les données, l'agrégation de données, etc.. [8].

❖ Couche transport

Effectue la tâche de maintenance des flux de données, en particulier lorsque les données capturées par les nœuds de capteurs doivent être accessibles via Internet ou des réseaux de communication externes [8]

❖ La couche application

Effectue la tâche de présenter toutes les informations à une application spécifique et de transmettre les demandes de la couche d'application aux couches inférieures de la pile de Protocol. Le logiciel dans la couche application dépend de l'application du capteur [8].

I.4.2. Plan de gestion

✍ **Plan de gestion d'énergie:** Contrôle l'utilisation d'énergie. Contrôle l'utilisation de la batterie. Par exemple, après la réception d'un message, le capteur éteint son récepteur afin d'éviter la duplication des messages déjà reçus. 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. L'énergie restante est réservée au captage.

✍ **Plan de gestion de mobilité:** Gestion des mouvements des nœuds. détecte et enregistre le mouvement du nœud capteur. Ainsi, un retour arrière vers l'utilisateur est toujours maintenu et le nœud peut garder trace de ses nœuds voisins. En déterminant leurs voisins, les nœuds capteurs peuvent balancer l'utilisation de leur énergie et la réalisation de tâche.

✍ **Plan de gestion de tâche:** Balance les tâches entre les nœuds afin d'économiser de l'énergie. balance et ordonnance les différentes tâches de captage de données dans une région spécifique. Il n'est pas nécessaire que tous les nœuds de cette région effectuent la tâche de captage au même temps, certains nœuds exécutent cette tâche plus que d'autres selon leur niveau de batterie.

I.5. Collection des informations

Il y a deux méthodes pour collecter les informations dans un réseau de capteurs.

I.5.1. Collecte d'informations à la demande

Lorsque l'on souhaite connaître l'état de la zone d'intérêt à l'instant t , le nœud puits émet une requête en broadcaste vers tous les nœuds déployés dans la zone d'intérêt pour que ces derniers remontent leur dernier relevé vers le nœud puits. Les informations sont alors acheminées vers le nœud puits par le biais d'une communication multi-sauts.

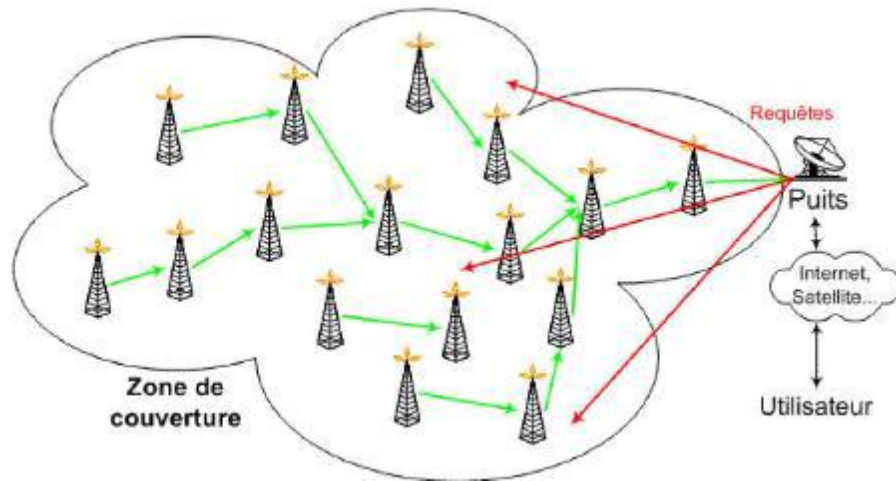


Figure I. 9: Collecte d'informations à la demande

I.5.2. Suite à un événement

Un événement se produit en un point de la zone d'intérêt (changement brusque de température, détection d'un mouvement...), les capteurs situés à proximité de ce point cible remontent alors les informations relevées et les acheminent jusqu'au noeud puits. La figure I.4 symbolise comment se fait la communication de l'information au centre de contrôle dans ce type de réseaux.

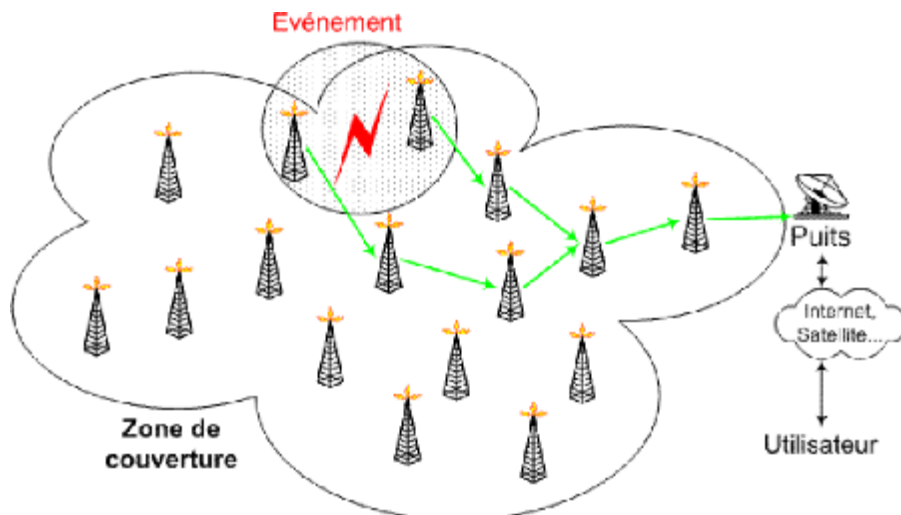


Figure I. 10: Application orientée événement

I.6. Domaines d'applications de réseaux de capteurs sans fil

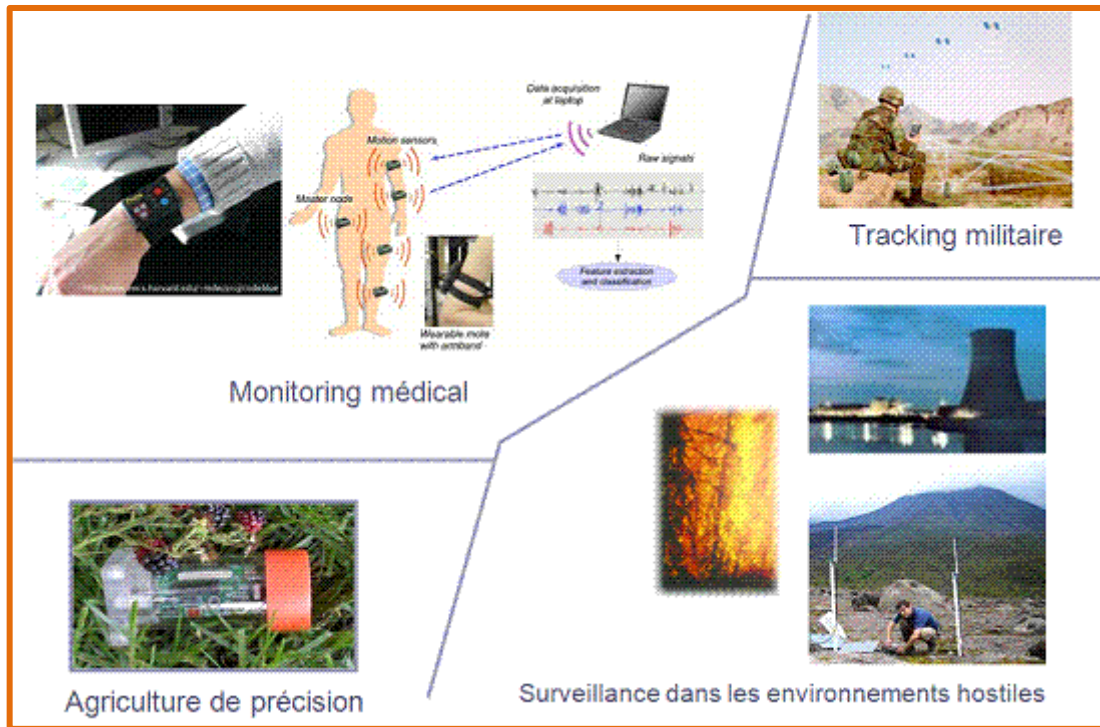


Figure I. 11: Domaines d'application de réseaux de capteurs sans fil

I.6.1 Applications militaires

Comme pour de nombreuses technologies, le domaine militaire a été un rôle clé dans le développement des réseaux de capteurs. Déploiement rapide, auto-organisation, le coût réduit et tolérance aux pannes des réseaux de capteurs sont des caractéristiques qui rendent ce type de réseau incontournable dans ce domaine [7]



I.6.2 Applications environnementales

Des thermo-capteurs dispersés à partir d'un avion sur une forêt peuvent détecter la possibilité de déclencher un incendie dans le champ de captage, ce qui contribue à mieux à lutter contre les feux de forêt [7].

I.6.3 Applications médicales

Certaines des applications de santé pour les réseaux de capteurs prennent en charge les interfaces pour les personnes handicapées, la surveillance intégrée des patients, les diagnostics et l'administration des médicaments dans les hôpitaux, la télésurveillance des données physiologiques humaines et le suivi des médecins ou des patients à l'intérieur d'un hôpital.[6]

I.7. Conclusion

Ces dernières années, les réseaux de capteurs sans fil ont été d'une grande importance et une nouvelle étape dans le développement de Technologies de l'Information et de la Communication Ce type de réseau est devenu intéressant en raison de ses interférences dans de nombreuses applications : santé, environnement, industrie ou encore sécurité. Les réseaux de capteurs ont une capacité électrique limitée, ce qui fait de l'optimisation de la consommation électrique des réseaux une tâche critique pour prolonger la durée de vie du réseau.

Chapitre II :
Les protocoles de
routage dans les
RCSF

II.1. Introduction

Dans les réseaux de capteurs sans fil, les nœuds communiquent entre eux pour transmettre des données. Les protocoles de routage permettent aux nœuds de communiquer directement entre eux, de relayer les messages sur plusieurs sauts et de transmettre les données aux points de collecte. Le problème le plus difficile dans les réseaux de capteurs sans fil est que les nœuds de capteurs utilisés dans le réseau ont une puissance de batterie limitée. Pour augmenter l'énergie des nœuds de capteurs, l'énergie est de préférence distribuée dans tout le réseau de capteurs sans fil. Par conséquent, la clé pour améliorer la durée de vie du réseau est de concevoir des protocoles efficaces et économes en énergie. Les protocoles de routage peuvent être basés sur la structure du réseau ou sur des opérations basées sur des protocoles.

Dans ce chapitre, nous examinerons certains protocoles de routage et leurs classifications.

II.2. Le routage dans les RCSF

Les protocoles de routage dans un réseau peuvent être classés selon deux concepts :

- le type de protocole
- la structure de réseau

II.2.1. Les types de routage

Le protocole de routage WSN peut en outre classer le calcul de chemin sur la base des informations obtenues. Cette classification de protocole est basée sur la façon dont le nœud source trouve la route vers le nœud de destination

II.2.1.1 Protocole proactif

Sont également connus sous le nom de protocoles pilotés par table qui maintiennent des tables de routage cohérentes et précises de tous les nœuds du réseau en utilisant la diffusion périodique des informations de routage. Dans cette catégorie de routage, toutes les routes sont calculées avant leurs besoins[12].

Exemples : SPIN, Diffusion dirigée, LEACH, SPEED, TTDD et

Les protocoles GBR sont classés dans cette catégorie en raison du suivi des routes vers toutes les destinations dans les tables de routage

II.2.1.2. Protocole réactif

Ces protocoles sont également appelés protocoles de routage à la demande car dans ces protocoles de routage, les nœuds recherchent des routes à la demande, c'est-à-dire

Chaque fois qu'un nœud veut envoyer des données, il recherche une route vers le nœud de destination et établit une connexion. [12]

II.2.2. Les protocoles de routage

Dans les réseaux de capteurs sans fil, on distingue trois types de protocoles de communication. Routage : protocoles de routage non hiérarchiques (ou plats), hiérarchiques et géographiques.

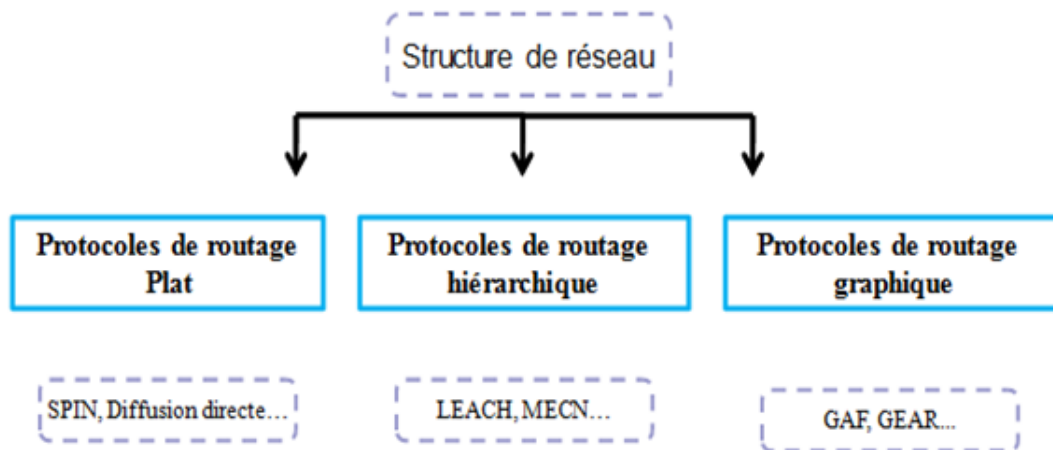


Figure II. 1: Les classes de protocoles de routage

II.2.2.1 Les protocoles de routage plat (non hiérarchiques)

➤ *SPIN (Sensor Protocol for Information via Negotiation)*

L'idée derrière SPIN est d'utiliser des paquets de signalisation spéciaux appelés métadonnées pour échanger des informations sur les données à envoyer. Cela évite le problème des données redondantes. Chaque nœud intéressé par les données référencées par le paquet de métadonnées peut les récupérer en envoyant un paquet de requête [13].

Le protocole SPIN utilise essentiellement trois types de paquets ADV/REQ/DATA.

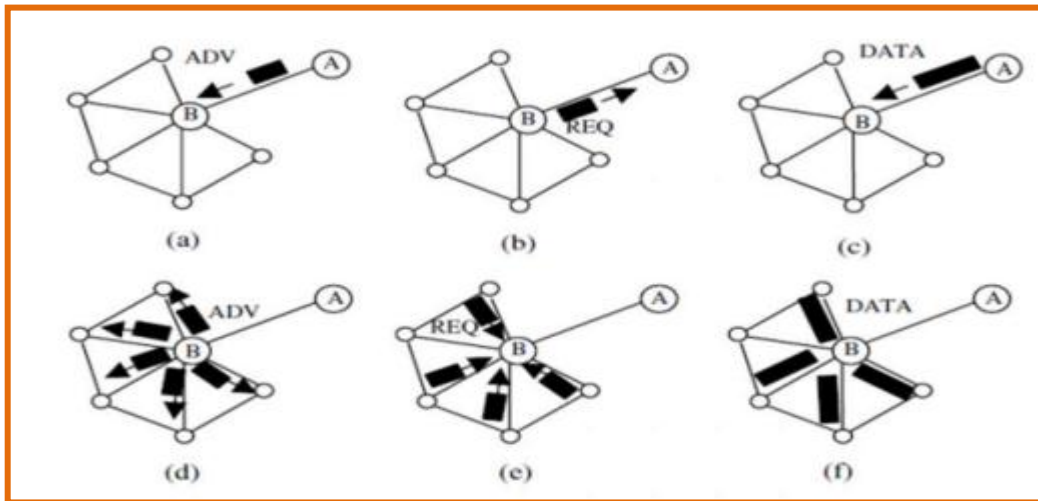


Figure II. 2: Fonctionnement du protocole SPIN

➤ ***DSDV (Destination Sequenced Distance Vector)***

DSDV est un protocole de routage à vecteur de distance actif. Chaque nœud du réseau maintient une table de routage qui contient les sauts suivants et le nombre de sauts pour toutes les destinations possibles. Les diffusions de mise à jour régulières ont tendance à maintenir la table de routage toujours à jour [14].

➤ ***GSR (Global State Routing)***

Le protocole GSR est un protocole similaire au protocole DSDV décrit précédemment. Le protocole adopte l'idée de routage basée sur l'état des liens (LS) et l'améliore en évitant le mécanisme d'inondation inefficace des messages de routage. GSR utilise une vue globale de la topologie du réseau, tout comme dans les protocoles basés sur LS. Le protocole utilise également une méthode, appelée méthode de propagation, pour DBF (Distributed Bellman-Ford) [14].

➤ ***OLSR (Optimized Link State Routing)***

Comme son nom l'indique, OLSR est un protocole proactif, optimisé pour l'état des liens ; il permet également d'obtenir le chemin le plus court. Dans les protocoles à état de liens, chaque nœud déclare ses liens directs avec les voisins de l'ensemble du réseau, dans le cas de l'OLSR, grâce à la technologie Multipoint Relaying (MPR), un nœud déclare une seule sous-section voisine [13].

II.2.2.2 Protocoles de routage hiérarchiques

➤ Le protocole LEACH (Low-Energy Adaptive Clustering Hierarchy)

Heinzelman et al ont proposé une hiérarchie de clustering adaptative à faible consommation d'énergie (LEACH) pour WSN. Ce protocole propose une conception des clusters. Dans chaque cluster, il a élu un nœud de capteur en tant que CH et le reste des nœuds du cluster devient des nœuds normaux qui collectent des données de l'environnement puis les envoient au CH, le CH est chargé de collecter les informations des autres membres du cluster, de les compresser et de les envoyer à la BS .

Chaque cycle de LEACH est caractérisé par deux états : la phase d'établissement du cluster et la phase d'équilibre. La décision d'être un CH dans la phase d'installation revient au nœud en choisissant une valeur aléatoire entre 0 et 1. Si la valeur est inférieure à une valeur seuil $T(n)$ définie par l'équation ce nœud sera un CH au tour suivant, sinon il se transforme en un nœud normal.[30]

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

Où P introduit le pourcentage des CH du réseau, le numéro de la ronde en cours est présenté par r ; G présente les collections des nœuds qui n'ont pas encore été CH dans les derniers tours $1/p$

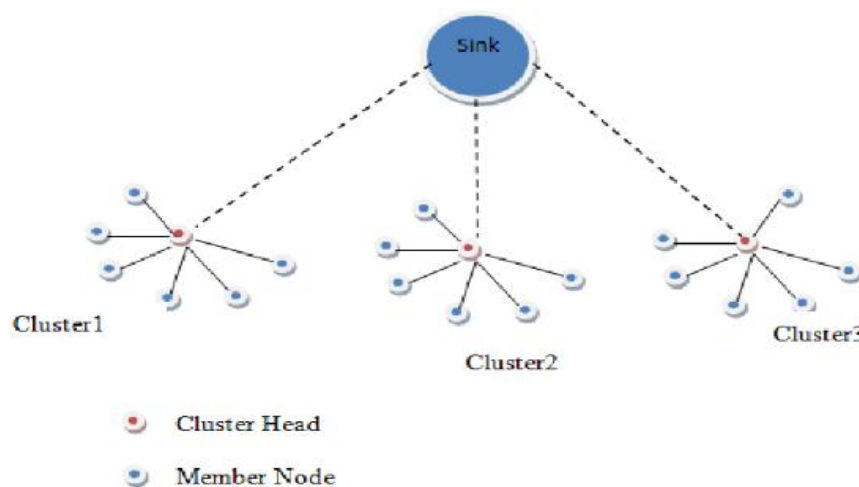


Figure II. 3: Architecture de communication du protocole LEACH

Le protocole LEACH permet la conception de rondes. LEACH fonctionne avec de nombreux tours. Chaque tour contient deux états : l'état de configuration et l'état stable.

Dans l'état de configuration du cluster, il forme des clusters en mode auto-adaptatif. Cependant, en régime permanent, il effectue la transmission de données. Le temps consacré au deuxième état est généralement plus long que le temps réservé au premier état pour sauvegarder la charge utile du protocole.

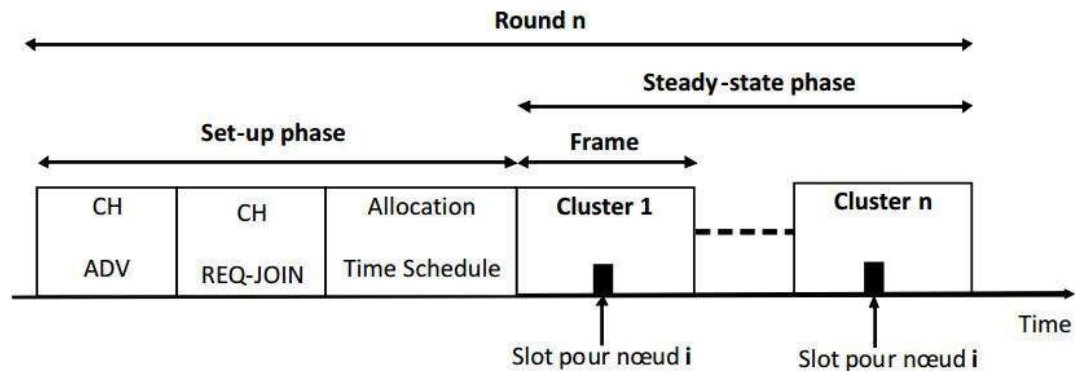


Figure II. 4: Formation des clusters dans LEACH

Phase de configuration (setup phase)

Les nœuds CH sont choisis aléatoirement parmi les nœuds du réseau lors de la phase de mise en place et plusieurs clusters sont formés dynamiquement. Initialement, chaque nœud génère un nombre aléatoire dans la plage de 0 à 1. S'il est inférieur à un seuil, $T(i)$, ce nœud se considère comme un CH pour le tour en cours. Cette décision implique également l'historique du nœud étant CH. Une fois les nœuds CH élus, ils diffusent des messages publicitaires. Sur la base de la force du signal reçu, chaque nœud non CH choisit son nœud CH correspondant. Chaque nœud non CH transmet un message de demande de jointure contenant son ID à son nœud CH choisi en utilisant CSMA. Après la phase de mise en place, chaque CH connaît ses membres.

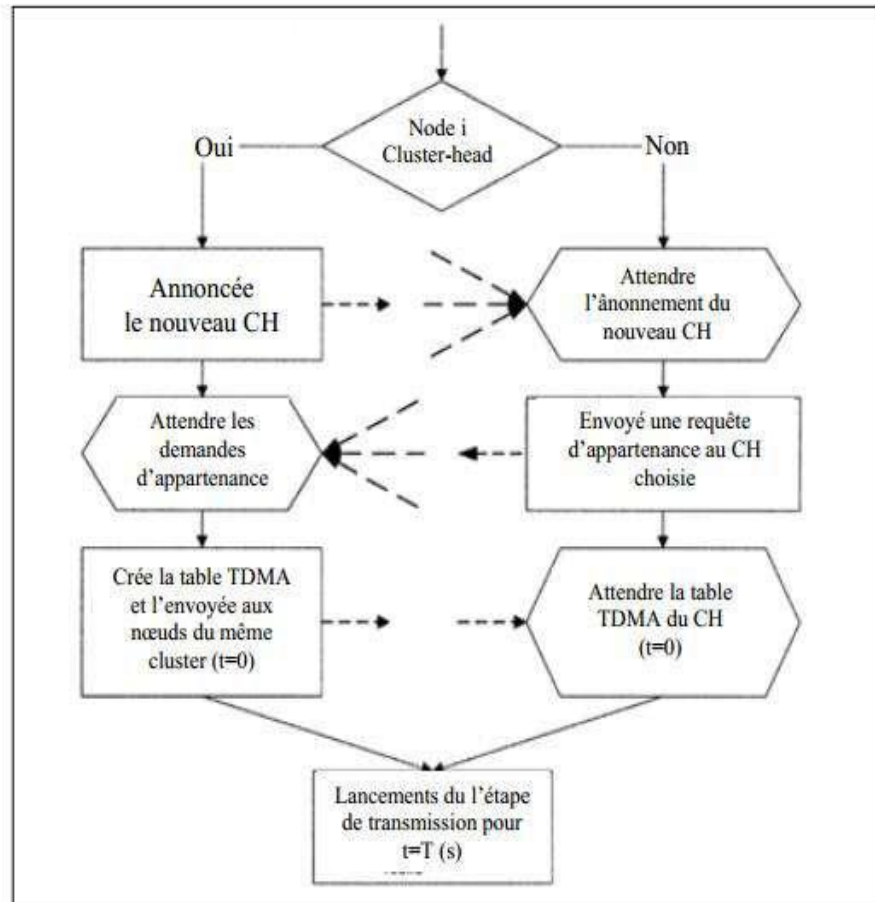


Figure II. 5: La phase d'initialisation (set-up)

Phase de transmission (steady state phase)

Une fois les clusters formés, chaque CH alloue son programme TDMA à ses nœuds membres. Sur la base du programme, chaque nœud membre transmet les données détectées à son nœud CH correspondant. Une fois que les CH ont collecté toutes les données de leurs membres, ils transmettent les données agrégées avec leurs propres données à la BS. Au début de chaque tour, de nouveaux nœuds de CH sont élus pour former de nouveaux clusters. Ainsi, la durée de vie du réseau peut être estimée en fonction du nombre de tours[31]

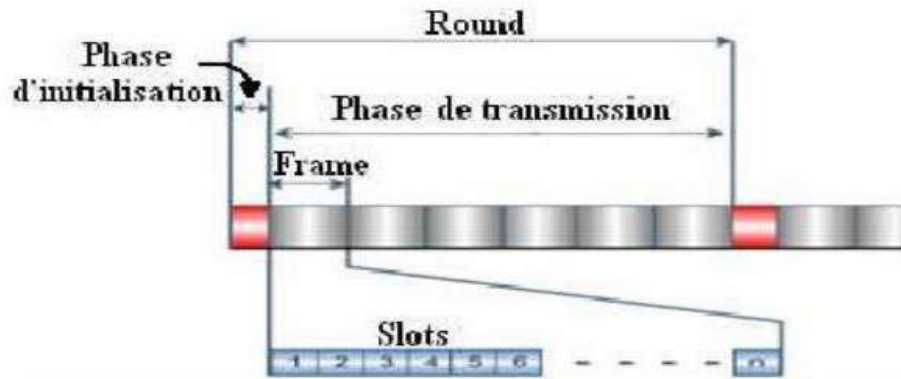


Figure II. 6: Répartition du temps dans la phase de transmission.

Avantages

- Algorithme distribué : La configuration automatique du cluster se fait indépendamment de la BS. Étant donné que chaque nœud transmet des données dans son intervalle de temps, le taux de collision est réduit.
- La consommation d'énergie est partagée entre tous les nœuds, prolongeant la durée de vie du réseau.
- L'utilisation de la technologie TDMA/CSMA permet d'avoir une structure hiérarchique et effectuer un clustering à plusieurs niveaux[32]

Inconvénients

- La possibilité de communiquer avec le puits à travers n'importe quel nœud du réseau exige une consommation d'énergie importante des nœuds lointains. Ce qui rend le protocole moins apte au passage à l'échelle,
- Les agrégations de données sont centrées au niveau des CHs, ce qui les rend maillons faibles du réseau[33]

➤ Le protocole LEACH-C (Low-Energy Adaptive Clustering Hierarchy-Centralisé)

LEACH-C a été proposé en 2002. LEACH Centralisé (LEACH-C) est un algorithme amélioré pour le protocole LEACH. Dans LEACH-C, le chef de cluster est sélectionné au hasard par la station de base, tandis que dans LEACH, le chef de cluster est sélectionné au hasard par le nœud lui-même. Utilisant un protocole de type LEACH, LEACH-C comporte

deux phases : une phase de configuration et une phase d'état stable. Pendant la phase de configuration, la station de base utilise l'énergie moyenne du nœud, l'emplacement de la station de base et le niveau d'énergie pour sélectionner un chef de cluster (CH). Une fois le CH et le CH associé sélectionnés, les messages sont transférés entre les nœuds contenant l'ID de cluster. Alors que la phase d'état d'équilibre de LEACH-C est similaire au protocole LEACH. Par rapport au protocole LEACH, le protocole LEACH-C améliore la durée de vie du réseau. Cependant, LEACH-C n'est pas adapté aux grandes zones de réseau[34]

Avantages

- Étant donné que la station de base possède une connaissance du réseau ainsi que des informations sur l'énergie et l'emplacement des nœuds de capteurs, elle peut former de meilleurs clusters nécessitant moins de ressources énergie pour transmettre des données. LEACH-C met en œuvre plus de rondes dans les réseaux de petite zone.

Inconvénients

- LEACH-C impose une surcharge supplémentaire à la BS. LEACH-C ne s'applique pas aux très grand réseau.
- **Le protocole PEGASIS (Power-Efficient GATHERing in Sensor Information Systems)**

Ce protocole a été proposé par Lindsey S. et al., et est une amélioration de LEACH

Dans PEGASIS, des chaînes sont formées plutôt que des clusters des nœuds des capteurs où chaque nœud transmet et reçoit des données d'un seul voisin. Un nœud de cette chaîne est sélectionné pour être transmis à la station de base.

L'idée de PEGASIS est qu'il utilise tous les nœuds pour transmettre ou recevoir des données avec ses voisins les plus proches. Les données sont combinées et collectées pour être transférées d'un nœud à un autre, les données combinées sont finalement envoyées à la station de base en allant de nœud au nœud

donc, chaque nœud du réseau est responsable de la transmission de toutes les données collectées et combinées par la chaîne de nœuds à la station de base, et elle est un leader dans la chaîne [15].

➤ **TEEN et APTEEN(Threshold sensitive Energy Efficient sensor Network protocol)**

TEEN est un protocole hiérarchique conçu pour être sensible aux changements soudains de traits perceptibles tels que la température. L'architecture du réseau est basée sur un clustering hiérarchique où les nœuds les plus proches forment des clusters. Une fois les clusters créés, le cluster transmet deux seuils aux nœuds: un seuil Hard HT (hard threshold), qui est la valeur seuil du paramètre contrôlé (surveillé) et un seuil Soft ST (soft threshold). Quelle est la valeur minimale d'un attribut pouvant être déplacé et la modification minimale de cet attribut. [13]

Pour surmonter les limitations du protocole TEEN, les auteurs ont proposé une extension à TEEN appelée APTEEN qui agrège à la fois la capture de données périodiques et l'interaction des événements critiques. Lorsque la station de base forme les clusters, les chefs de cluster diffusent les attributs, les seuils et le plan de transmission à tous les nœuds et collectent également des données afin d'économiser de l'énergie.

➤ **HEED (Hybrid, Eenergy-Efficient, Distributed approach)**

Présenté par Younes et Fahmy, un clustering WSN multi-sauts

Algorithme qui apporte un routage de clustering économe en énergie avec une prise en compte explicite de l'énergie. Différent de LEACH dans la manière dont le CH est sélectionné, HEED ne sélectionne pas les nœuds comme CH au hasard, mais sélectionne plutôt les têtes de clustering selon un critère hybride qui combine deux paramètres.

Un paramètre dépend de l'énergie résiduelle du nœud, et l'autre paramètre est le coût de la communication intra-cluster. Dans HEED, les CH sélectionnés ont une énergie résiduelle moyenne relativement élevée par rapport aux MN. De plus, l'un des principaux objectifs de HEED est d'obtenir une répartition uniforme des CH dans le réseau et de créer des ensembles de taille équilibrée. De plus, malgré le phénomène que deux nœuds, dans leur portée de communication respective, deviennent CH ensemble, mais la probabilité de ce phénomène Trop faible dans HEED. [16]

Dans HEED, les CH sont élus périodiquement en fonction de deux paramètres importants : l'énergie résiduelle et le coût de communication intra-cluster pour les nœuds candidats. Initialement, dans HEED, le rapport des CH entre tous les nœuds, C_{prob} , est attribué, en

supposant que le pourcentage optimal ne peut pas être calculé à l'avance. La probabilité qu'un nœud devienne un CH est :

$$CH_{prob} = C_{prob} \frac{E_{residual}}{E_{max}} \quad \text{II.2}$$

Où $E_{residual}$ est l'énergie actuelle nominale du nœud, E_{max} est l'énergie de référence maximale, qui correspond généralement à tous les nœuds du réseau. Cependant, la valeur de CH_{prob} ne doit pas descendre en dessous d'une certaine seuil qui est déterminée comme étant inversement proportionnelle à E_{max} . Ensuite, chaque nœud passe par plusieurs itérations jusqu'à ce qu'il trouve un CH. Si vous entendez parler du manque de CH, choisissez de devenir CH et envoyer un message publicitaire à ses voisins. Chaque nœud double la valeur de CH_{prob} et passe à l'itération suivante jusqu'à ce que $CH_{prob} \geq 1$. Il existe donc deux types d'états qu'un nœud capteur peut déclarer à ses voisins : l'état temporaire et l'état final. Si le CH_{prob} est inférieur à 1, le nœud devient un CH temporaire et son état peut être changé en un nœud normal lors d'une itération ultérieure s'il trouve un CH de moindre coût. Si CH_{prob} a atteint 1, le nœud devient CH de façon permanente. Dans HEED, chaque nœud CH choisit le coût de connexion le plus bas pour se joindre. D'autre part, les CH envoient les données collectées à BS en mode multi-sauts au lieu de la mode LEACH en un seul saut. [17]

I.3. Conclusion

Dans les réseaux sans fil, plusieurs protocoles de routage ont été conçus, et dans ce chapitre, nous avons soigneusement classé les protocoles de routage dans WSN. En raison du grand nombre de nœuds de capteurs impliqués dans la conception du réseau, les facteurs de conception et les défis du protocole WSN incluent la sensibilisation à l'énergie et l'évolutivité.

Chapitre III :

**La recherche du coucou
via les vols de Levy et
approche proposée**

III. 1. Introduction

L'algorithme méta-heuristique est adapté pour traiter des problèmes qui ne sont pas résolus par des méthodes efficaces spécifiques. L'algorithme recherche du Coucou (CS) est un algorithme d'optimisation global inspiré de la nature et basé sur le comportement parasite des coucous. CS est un algorithme efficace car il a été appliqué avec succès pour résoudre un grand nombre de problèmes de différents domaines. CS utilise les vols de Lévy pour générer la taille des pas et explorer efficacement l'espace de la solution. La recherche locale est effectuée en utilisant la probabilité de commutation dans laquelle certains pourcentages de solutions sont supprimés. Bien que CS soit un algorithme efficace, ses performances peuvent encore être améliorées en incorporant l'exploration et l'exploitation pendant le processus de recherche.

Dans ce chapitre, nous avons d'abord aperçu en détail l'algorithme de recherche de coucou via les vols de Lévy ; puis nous présentons notre protocole hybride de routage basé sur l'algorithme CS et la distribution Gaussien, à savoir HCSGDP.

III.2.1 Inspiration

Les coucous (nom scientifique : Cucurbita) appartiennent à trois familles : les Musophagidae, les Cuculidae et les Opisthocomidae. Il existe plus de 100 espèces de coucous, mais une seule famille de coucous (Cuculidae) a une stratégie de reproduction très diversifiée et vit en Europe. Les coucous se trouvent dans presque toutes les régions du monde, de l'Afrique à l'Europe. Ils se nourrissent souvent d'insectes, en particulier de chenilles [18]



CS s'inspire du parasitisme obligatoire de certaines espèces de coucous, qui pondent leurs œufs dans les nids des oiseaux hôtes. Ce parasitisme agressif du couvain agit comme suit. Les coucous femelles pondent généralement des œufs de couleurs différentes et peuvent correspondre à ceux de leurs hôtes. Différentes espèces peuvent produire différentes couleurs et ciblent généralement différents oiseaux hôtes. Les œufs sont souvent tachetés sur des surfaces grises, jaunes, vertes et rouges, également

visibles en blanc solide ou crémeux. Les rayons de la taille d'un œuf peuvent varier d'environ 21,9 à 16,3 mm. Environ la moitié des coucous ne couvent pas leurs propres œufs, mais se tournent vers ce parasitisme. Une femelle cachée attend près d'un nid hôte approprié pour avoir l'occasion de jeter ses œufs dans le nid de l'hôte (Figure 2). L'oiseau hôte est en conflit direct avec le coucou envahissant. S'il découvre que les œufs ne sont pas les leurs, ils les jettent ou abandonnent simplement leurs nids et en construisent de nouveaux. Souvent, les poussins coucou nouveau-nés peuvent pousser aveuglément les œufs hors du nid. [19].

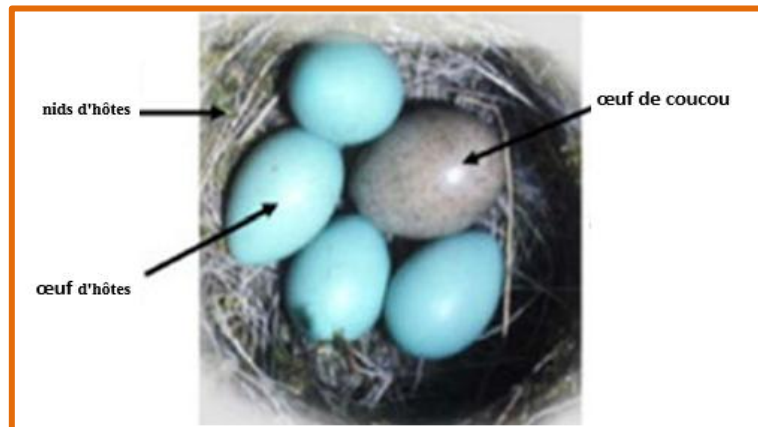


Figure III. 1 : un œuf de coucou dans un nid d'hôte.

III.2.2. Algorithme de recherche du Coucou (CS)

CS est un algorithme basé sur l'intelligence des essaims développé par **Yang et Deb** (2009) inspiré du comportement naturel des coucous, en particulier le parasitisme obligatoire de certaines espèces de coucous en pondant leurs œufs dans les nids d'autres oiseaux hôtes. [20]

Les auteurs définissent l'algorithme CS en définissant trois règles qui idéalisent le comportement du coucou pour qu'il soit adapté à une implémentation en tant qu'algorithme informatique :

- Chaque coucou pond un œuf à la fois, puis le jette dans un nid choisi au hasard.
- Les meilleurs nids avec des œufs de haute qualité seront transmis à la génération suivante.
- Le nombre de nids hôtes disponibles est fixe et les œufs pondus par le coucou peuvent être trouvés par l'oiseau hôte avec probabilité $pa \in (0, 1)$. Dans ce cas,

l'oiseau hôte se débarrasse des œufs ou abandonne simplement le nid et en construit un tout nouveau.

En ce qui concerne les règles ci-dessus, la mise en œuvre de CS est la suivante.

Chaque œuf dans le nid représente une solution candidate. Par conséquent, chaque coucou ne peut pondre qu'un seul œuf dans un nid dans sa forme originale, bien que généralement chaque nid puisse avoir plusieurs œufs représentant un ensemble de solutions. La tâche de CS est de générer de nouvelles et éventuellement de meilleures solutions pour remplacer les pires solutions de la ruche actuelle. La qualité de la solution est évaluée avec la fonction objectif du problème à résoudre. Habituellement, cette fonction doit être maximisée.

Mathématiquement, ce type de problème est trivial pour convertir le problème de minimisation de l'équation $\min(f(x)) = \max(-f(x))$ en un problème de maximisation. Contrairement à la fonction objective, cette fonction transformée est maintenant appelée la fonction de fitness.

De plus, la dernière règle est approximée par un paramètre supplémentaire **pa** nommé probabilité de commutation qui détermine quand le pire des n nids hôtes est remplacé par un nouveau nid généré aléatoirement. En fait, ce paramètre équilibre les deux composantes du processus de SC, l'exploration et l'exploitation, telles qu'identifiées par Črepinšek et al. [21], trop d'exploitation conduit à une convergence prématurée, tandis que trop d'exploration ralentit la convergence.

III.2.3. Levy Flight

Levy Flight est une marche aléatoire dans laquelle les pas sont définis en termes de longueurs de pas, qui ont une certaine distribution de probabilité, les directions des pas étant isotropes et aléatoires. Le mouvement suivant est basé sur la position actuelle. [22].

$$\mathbf{Xi}(t+1) = \mathbf{Xi}(t) + \alpha \oplus \text{Levy}(\lambda) \quad (\text{III.1})$$

où $\alpha > 0$ est la taille du pas (Dans la plupart des cas, α est supposé égal à 1).

Produit \oplus : Représente la multiplication par élément, c'est-à-dire XOR. Opération Levy Flight: est une marche aléatoire avec des étapes aléatoires suivant la distribution Levy

$$\text{Levy} \sim u = t^{-\lambda} \quad (1 < \lambda \leq 3) \quad (\text{III.2})$$

Cette formulation conduit à l'avantage de l'algorithme CS par rapport aux autres méta-heuristiques. L'algorithme CS a une randomisation plus efficace en raison de la queue lourde du vol Lèvy [22]

Dans le cas de CS, l'utilisation de Levy Flight optimise et améliore la recherche : Levy parcourt aléatoirement la meilleure solution obtenue jusqu'à présent pour générer de nouvelles solutions, ce qui accélère la recherche globale.

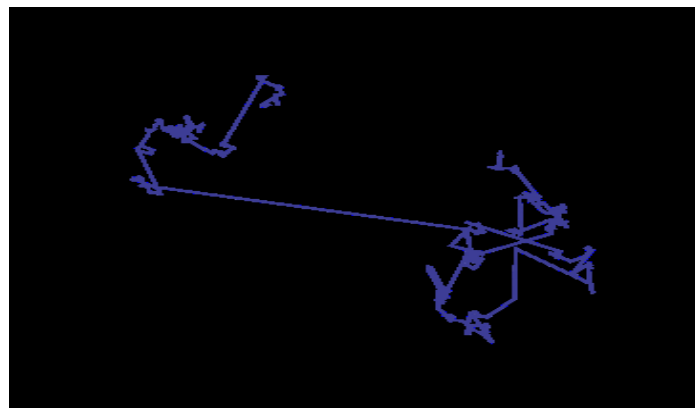


Figure III. 2:Lévy Flight

III.2.4 Initialisation de l'algorithme

Dans l'ensemble initial, générer aléatoirement n nids d'hôtes (NH) dans l'espace de recherche telle que les œufs de coucou très similaires aux œufs hôtes Le $i^{\text{ème}}$ nid d'hôte est représenté par: $X_i = (x_{i1}, \dots, x_{ij}, \dots, x_{in})$ où n est la dimension du problème, alors chaque nid est créé par :

$$x_{ij} = X_{\min j} + \text{rnd}(0,1)(X_{\max j} - X_{\min j}), j = 1, \dots, n, i = 1, \dots, N_H \quad (\text{III.3})$$

III.2.5 Description de l'algorithme

Etape 1: Recherche globale:

Dans cet étape la recherche est globale génère des nouveaux coucous et tests par rapport à des coucous existants (solutions) en réalisant des Levy Flight.

employer la loi d'évolution pour chaque coucou :

$$\left. \begin{aligned} X_{new\ i} &= X_i + \alpha \oplus \text{levy}(\beta) \\ F_{new\ i} &= f(X_{new\ i}) \end{aligned} \right\}, i = 1, \dots, N_H \quad (\text{III.4})$$

Où $\alpha > 0$:est la taille du pas de déplacement

Produit \oplus : Représente la multiplication par élément, c'est-à-dire XOR.

Le nouveau ième coucou pond ses œufs dans le nid si $F_{new i} < F_j$ et choisit au hasard le nid de l'hôte

$$F_{new i} < F_j \tag{III.5}$$

Donc ,si coucou X_i est meilleure que celle de coucou X_j , remplacez la solution X_j , dans la population

Etape 2:Recherche locale:

De nouveaux œufs de coucou peuvent être détectés et détruits avec une probabilité P_a s'ils sont cas ($\text{rand}(0,1) < P_a$), de nouveaux œufs sont générés. Plusieurs méthodes peuvent être envisagées pour cela. On retiendra pour CS la suivante où on procède à une hybridation entre éléments de la population choisie aléatoirement

$$x'_{new ij} = X_{ij} + \text{rnd}(0,1)(X_{pj} - X_{mj}), j = 1, \dots, n, = 1, \dots, N_H \tag{III.6}$$

$$F'_{new i} = f(X'_{new i}) \tag{III.7}$$

Où $m \in \{1, 2, 3, K, N_H\}$ et $p \in \{1, 2, 3, K, N_H\}$ tels que $p \neq m$ sont choisis aléatoirement.

Une sélection identique à celle de l'étape précédente est alors réalisée.

III.2.6 Pseudo-code del'algorithme

Le pseudo code simplifié de l'algorithme est donné ci-dessous.

Algorithme 01 : La recherche du Coucou via les vols de Lévy

Génération d'une population initiale de NH nids hôtes X_i : avec: $(i = 1, 2, \dots, n)$;

Tant que le critère d'arrêt (Max Génération) n'est pas satisfait, **répète** :

générer un coucou aléatoirement par des vols Lévy ;

Évaluer sa qualité/fitness F_i ;

Choisir un nid parmi X_j aléatoirement parmi les (NH) nids hôtes,

Si $F_i < F_j$

Remplacer j par la nouvelle solution ;

FinSi

Abandonner une fraction (pa) des mauvaises nids et en construire de

nouveaux à de nouveaux endroits ;

Conserver les meilleures solutions (ou nids avec des solutions de qualité) ;

Classer les solutions et trouver la meilleure CH actuelle ;

Fin tant que

III.2.7 les avantages de l'algorithme

- ❖ Traiter les problèmes d'optimisation multicritère.
- ❖ Facile à mettre en œuvre.
- ❖ *Conçu pour accélérer la convergence.
- ❖ Simple.
- ❖ Il peut encore s'hybrider avec d'autres algorithmes d'essaim.

III.3 Algorithme proposé

III.3.1 Hypothèses

Afin de bien déterminer le travail que nous allons faire, il est important de fixer le cadre dans lequel nous allons évoluer. Nous avons posé les hypothèses de travail suivantes :

- ✓ Tous les nœuds du réseau sont homogènes et limités en énergie.
- ✓ Tous les nœuds sont adressables, où on peut établir une communication directe entre deux nœuds.

- ✓ Seul l'envoi et la réception des messages qui exigent une consommation d'énergie, par contre les calculs et les traitements n'exigent aucune dépense d'énergie.
- ✓ La station de base couvre entièrement la zone de captage.
- ✓ Le réseau de capteur est statique (la topologie du réseau ne se change pas durant l'exécution).

III.3.2 Description générale et les objectifs de l'algorithme proposé

HCSGDP utilise des marches aléatoires gaussiennes pour améliorer ses capacités en termes d'exploitation de l'espace de recherche par rapport aux vols Lévy en évitant la taille de pas constante utilisée dans l'algorithme CS traditionnel. La marche stochastique de propagation gaussienne a une performance prometteuse pour atteindre l'optimum global, car elle décrit le comportement de la diffusion aléatoire[23]. Le *figure III.3* représente Marches Gaussien vs Lévy Flight :

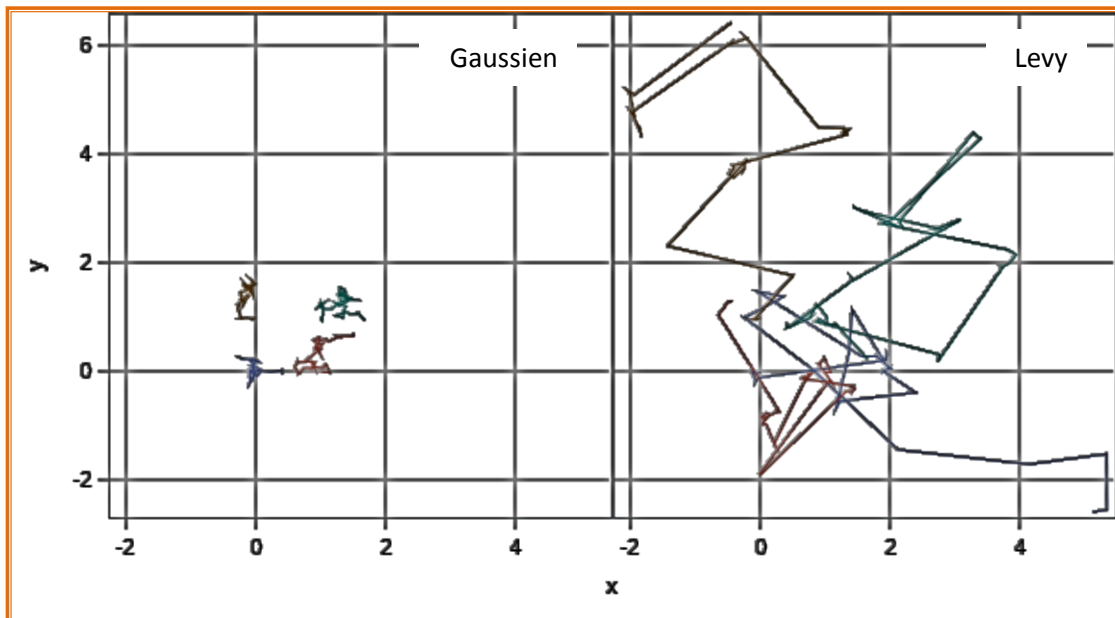


Figure III. 3:Marches Gaussienvs Lévy Flight

Le table III.1 suivant représente la comparaison entre recherche du coucou etHCSGDP

	recherche du coucou	HCSGDP
recherche du coucou	Nid	CHs
	L'œuf	Modélise un nœud capteur
	Solution	Meilleur CH
	Fonction fitness	f_i (pour le cluster)

Tableau III .1:comparaison entre recherche du coucou et HCSGDP

Fonction objective :

L’objective de cette fonction est de minimisé l’énergie consommé par les CHs par apport à l’énergie totale de réseaux ainsi que la distance entre les CHs et la station de base suivant l’équation :

$$f = \frac{E}{E_0 * dis_{(CH_i,BS)}} \tag{III.8}$$

E :est l’énergie résiduelle totale de réseaux

d_{s1} :est la distance entre les cluster heads et la Station de Base.

E_0 :est l’énergie initiale

III.3.3 Description détaillée de l’algorithme proposé

III.3.3.1Types des nœuds utilisés par notre algorithme proposé

- ✓ Chef du cluster principale (CH):c’est le coordinateur des nœuds membres du cluster. Il est chargé de l’agrégation des données collectés par les membres du cluster et de transmettre ces données aux nœuds spécifiques (station de base).
- ✓ Nœuds normal.
- ✓ Station de base (BS).

III.3.3.2 Déroulement de l'algorithme

III.3.3.2.1 Phase d'initialisation (setup-phase)

La première phase de l'algorithme est La phase d'initialisation où les CH sont aléatoirement sélectionnées et chaque CH est chargé de collecter les données des nœuds et les envoyer au station de base. Puis on calcule leur fonction objective(f_i)

Pour chaque itération en utilise les étapes suivantes:

1. Pour chaque CH trouver un CH candidat en utilisant le vol de Lévy
2. Calculer la fonction objective du nouveau CH (f_j)
3. Si la valeur de la f_j est mieux que l'ancienne (f_i), remplacez j par i
4. Sinon, trouver un autre CH candidat en utilisant la marche gaussien pour accéder à une autre position de CH .
5. Comparez la nouvelle fonction objective du nouveau CH (f_j) avec l'ancienne(f_i), si la valeur de la fonction objective est meilleure que l'ancienne, remplacez l'ancienne CH par la nouvelle CH
6. Enregistrez les meilleures CH obtenue
7. Répétez 1 à 5 jusqu'à l'itération max
8. Parmi les Cluster-Head enregistrées, choisissez celle dont la fitness est la plus élevée f_j
9. Garder la meilleure CH au rond suivant
10. Répétez 1 à 9 jusqu'à ce que le rond maximum soit atteint.

III.3.3.2.2 Phase de transmission (steady state phase)

Dans cette phase, le processus de transmission des données agrégées des nœuds capteurs par les CH vers la BS est effectué. Sur la base des créneaux horaires alloués dans le programme TDMA, les nœuds membres dans chaque cluster transmet ses données à son CH désigné, qui par son rôle les transmis au BS. Ils s'arrêtent jusqu'au prochain créneau horaire alloué dans la table TDMA. S'il y a un nœud isolé, il envoie ses données directement à la station de base.

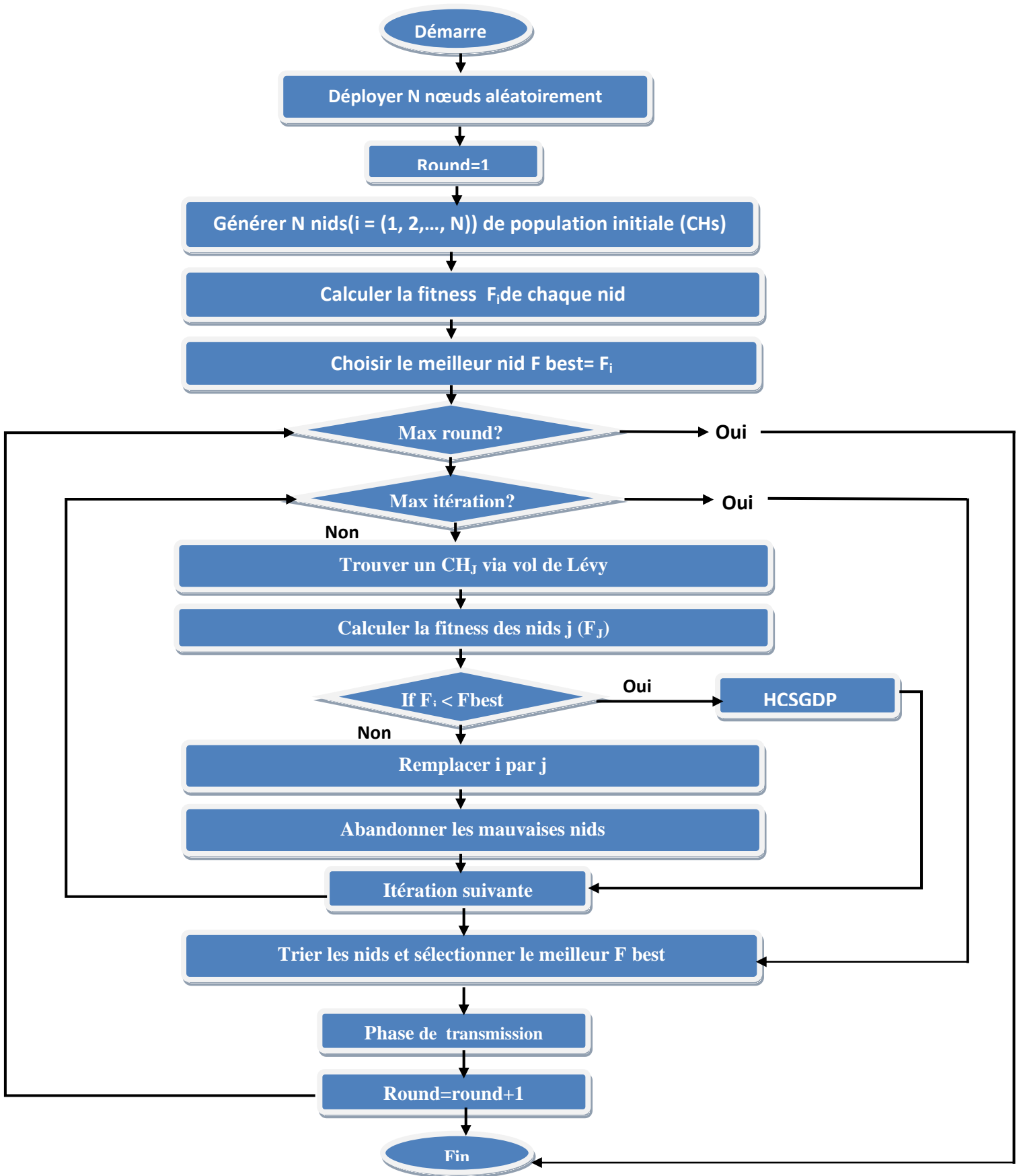


Figure III. 4: L'organigramme du protocole proposé

III.4. Conclusion

Les techniques d'optimisation ont joué un rôle majeur dans les problèmes du monde réel. L'algorithme de recherche du coucou qui a subrogé de nombreuses technologies traditionnellement utilisées. Dans cette recherche, nous nous sommes concentrés sur l'algorithme de recherche du coucou. Recherche du coucou a été utilisé dans plusieurs applications telles que le routage, les poids de trace dans les réseaux de neurones, la planification, la sélection de fonctionnalités, la planification de chemin, la prévision, le choix de variables aléatoires, le traitement d'images, etc.

Dans ce chapitre, une méta-heuristique a été présentée, qui introduit une méthode hybride basé sur l'algorithme CS et la distribution Gaussien, à savoir HCSGDP.

A decorative orange frame with rounded corners and a slight shadow, containing the chapter title. The frame has a gradient from light orange to a slightly darker shade at the bottom.

**Chapitre IV:
Implémentation et
discussion**

IV.1 Introduction

Dans ce chapitre, nous parlons d'abord de l'environnement MATLAB, puis nous présentons la partie implémentation de notre travail, dans laquelle, nous évaluerons notre protocole de routage proposé (HCSGDP) en tant que solution proposée au problème de consommation d'énergie pour réduire correctement la distance de transmission globale dans le réseau et améliorer la durée de vie du réseau.

Les performances et l'efficacité énergétique de notre protocole seront comparées au protocole de routage LEACH et LEACH-C.

IV.2 Environnement de travail

Le nom MATLAB signifie MATrixLABoratory. MATLAB a été écrit à l'origine pour fournir un accès facile au logiciel matriciel développé par les projets LINPACK (package système linéaire) et EISPACK (package système Eigen) [24]

MATLAB est un langage de haute performance pour le calcul technique.. C'est un langage de haut niveau pour la programmation scientifique et technique basé sur le calcul matriciel.[24]

Il offre toutes les fonctionnalités classiques permettant de développer rapidement des applications interactives évoluées. Il permet donc de développer et d'exécuter des algorithmes.et est un outil très polyvalent. On l'utilise dans le domaine de la simulation et de la visualisation des sciences mathématiques, statistiques et naturelle[25].

Les IHM (Interface Homme Machine), sont appelés GUI (Graphique User Interfaces) dans MATLAB. Elles permettent à des objets graphique (buttons, menus, cases à cocher, ...) d'interagir avec un programme informatique[26].

L'environnement de MATLAB possède 4 fenêtres:

- a. Au centre l'invite de commande (command Windows).
- b. En haut à droite le contenu de l'espace courant de travail (workspace).
- c. gauche la liste des fichiers du répertoire courant (currentfolder).
- d. En bas à droite l'historique des commandes tapées (command history) [27]

IV.3. Modèle de système

IV.3.1. Modèle de réseau

- Les nœuds sont répartis aléatoirement dans un espace à 2 dimensions.
- Les nœuds capteurs sont fixes et homogènes dans les capacités de traitement et de communication.
- L'énergie initiale est uniforme pour tous les nœuds et il est impossible de les recharger ou de les remplacer.

IV.3.2. Modèle de dissipation d'énergie

Modèle de dissipation d'énergie cette étude suppose un modèle simple pour le matériel radio où l'émetteur dissipe l'énergie pour faire fonctionner l'électronique radio pour transmettre et amplifier les signaux, et le récepteur fait fonctionner l'électronique radio pour la réception des signaux [28]. Le modèle d'évanouissement multi-parcours (perte d'énergie d^4) pour les transmissions à grande distance et le modèle d'espace libre (perte d'énergie d^2) pour les transmissions proximales sont pris en compte.[29] pour transmettre un message de **k- bits** sur une distance **d**, la radio dépense :

$$E_{TX}(k, d) = E_{TX-elec}(k) + E_{TX-amp}(l, d) \quad (IV.1)$$

$$E_{TX-elec}(k) = k * E_{elec} \quad (IV.2)$$

$$E_{TX-amp}(k, d) = \begin{cases} k * \epsilon_{fs} * d^2 & \text{if } d \leq d_0 \\ k * \epsilon_{mp} * d^4 & \text{if } d > d_0 \end{cases} \quad (IV.3)$$

Avec :

E_{elec} : Energie de transmission/réception électronique .

d : Distance entre l'émetteur et le récepteur .

E_{TX-amp} : Energie d'amplification .

ϵ_{fs} : Le facteur d'amplification correspond au "canal en espace libre".

ϵ_{mp} : le facteur d'amplification correspond au "multipath fading Channel".

k : La taille d'un message.

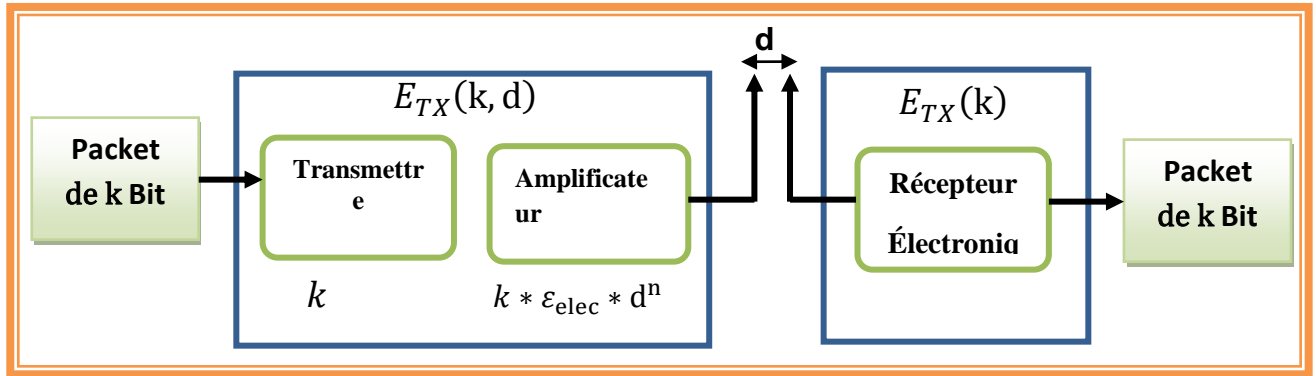


Figure IV. 1: Modèle de consommation d'énergie

IV.3.3. Caractéristiques matérielles pour l'environnement MATLAB

Le tableau ci-dessous montre les caractéristiques de la machine dans toutes les expériences de notre simulation:

La machine	Caractéristiques
Processeur	Intel(R) Core(TM) i3-3110M CPU @ 2.40GHz 2.40 GHz
Mémoire (RAM)	4.00 Go
Le système d'exploitation	Microsoft Windows 7 Professionnel 64 bits.

Tableau .2: Caractéristiques matérielles

IV.4. Description et paramètres de simulation

L'interface de simulation se compose de :

La 1^{ière} interface :



La 2^{èmes} interface:

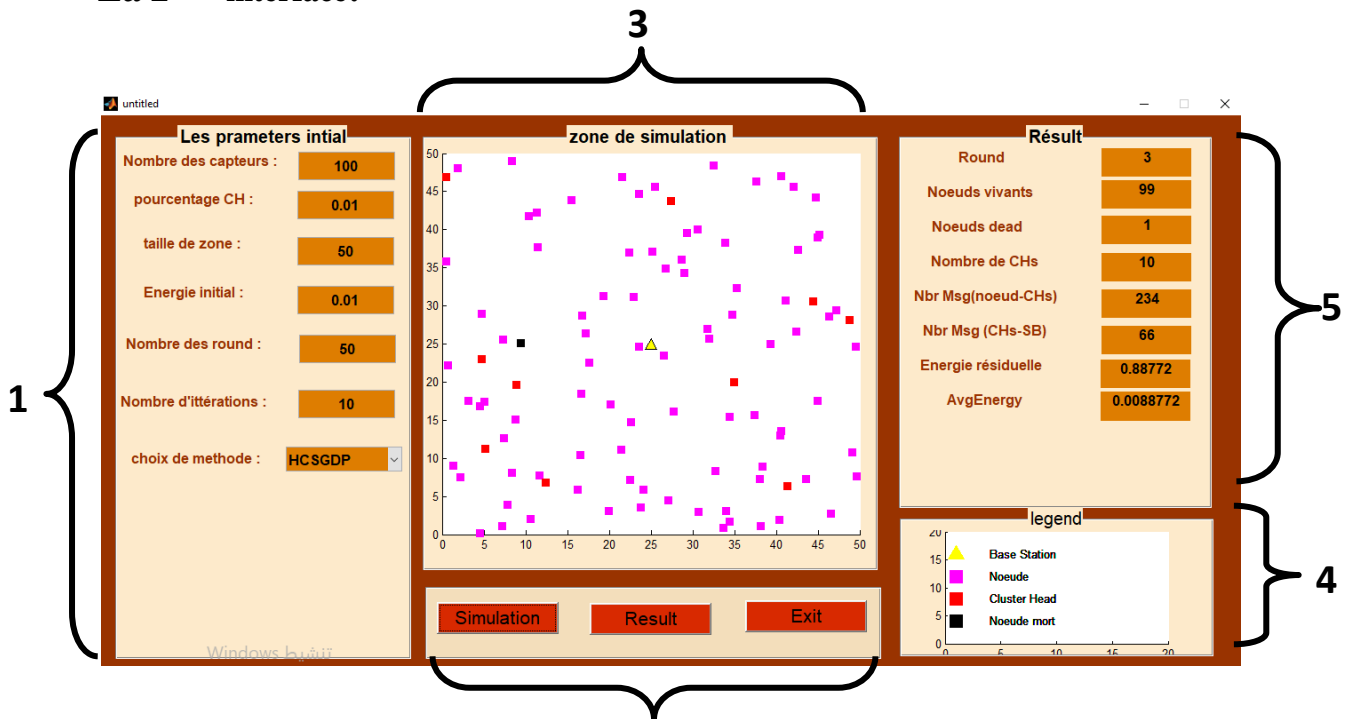


Figure IV. 2: Interface de simulation

1. **Zone des paramètres de simulation** : pour simuler les protocoles, tous les paramètres de simulation doivent être saisis.
2. **Zone de contrôle de simulation:**

- **Bouton de simulation** : Pour commencer la simulation.
- **Résultat** : Pour afficher les courbes de simulation sur la troisième interface
- **Exit** : Pour sortir de l'application

3. **Zone de simulation** : Cette partie est représentée la zone de simulation.

4. **Légende** : la légende qui représente les composants de la zone de simulation

5. **Résultats de simulation** : représente les résultats actuels de la simulation qui sont dans l'ordre : nombre de rounds, , nombre de nœuds vivants, nœuds vivants, données envoyées à CHS, données envoyées à BS, énergie résiduelle.

La 3^{èmes} interface :

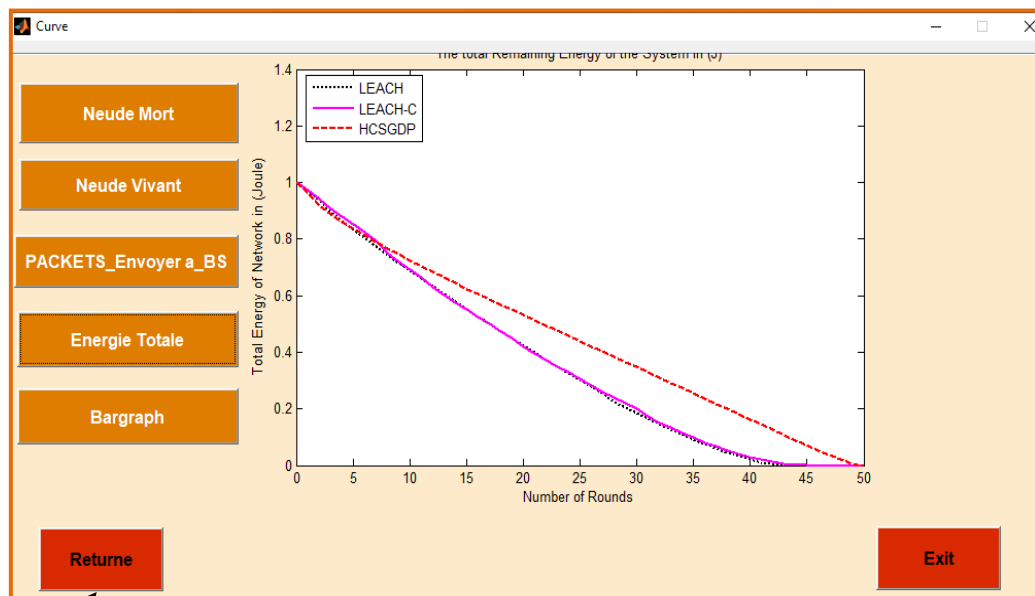


Figure IV. 3: Interface de Curve de simulation

6

6. Pour retourner à l'interface de simulation.

IV.5. Simulation des protocoles de routage

Les résultats de simulation que nous avons obtenus seront présentés dans cette partie, ces résultats seront être comparées à celles obtenues par le protocole LEACH-C et le protocole LEACH.

L'évaluation de notre protocole se fait en termes d'économie d'énergie, d'extension de la durée de vie globale du réseau et du nombre total des nœuds vivants.

Nos paramètres de simulation sont les mêmes que LEACH et LEACH-C et nous supposons que tous les nœuds ont une position fixe durant toute la période de simulation et que la station de base est positionnée au centre de la zone de détection. Le tableau suivant représente Les paramètres de simulation:

Paramètres	Scenario
Protocole	LEACH , LEACH-C ,HCSGDP
Nombre de nœuds	100
Zone de simulation	50x50m
L'énergie initiale des nœuds	0.01j
Taille de paquet	6400 bit
Eelec	50 nJ/bit
Efs	10 pJ/bit/m ²
Emp	0.0013 pJ/bit/m ²
Eda	5pJ/bit/sig
Type de distribution	Aléatoire

Tableau .3:Les paramètres de simulation

Paramètre de l'algorithm CS	Valeur proposé
pourcentage de CHs	10
Nombre of cuckoo	10

Tableau .4:Les paramètres de l'algorithm HCSGDP

IV.5.1 Energie résiduelle

Le Tableau IV.3 montre l'énergie résiduelle par rapport chaque round pour les trois protocoles LEACH et LEACH-C et HCSGDP.

Round	Leach	Leach-C	HCSGDP
1	0.5	0.5	0.5
10	0.35529	0.37	0.32982
20	0.22091	0.28339	0.26095
30	0.12717	0.14785	0.15064
40	0.039543	0.043871	0.074354
50	/	/	0

Tableau .5:la consommation énergétique

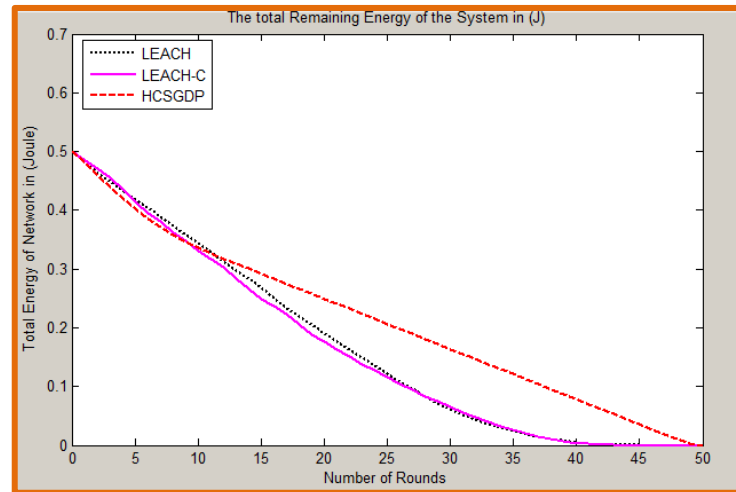


Figure IV. 4: La consommation d'énergie

La figure VI.4 représente la comparaison sur la base de l'énergie totale restant dans le système au le nombre total de round pour les trois protocoles. Tous les protocoles ont montré une diminution progressive de l'énergie. Cependant, notre protocole HCSGDP proposé a une diminution régulière avec le nombre de round jusqu'au round 49 car il maintient le même nombre de cluster pour chaque round contrairement aux protocoles LEACH et LEACH-C dont l'énergie du réseau est entièrement consommée à environ 41 round. Cette amélioration apportée par notre protocole est grâce à l'utilisation de l'algorithme de recherche Coucou pour le choix optimal des positions de ch.

IV.5.2 Nœuds vivants

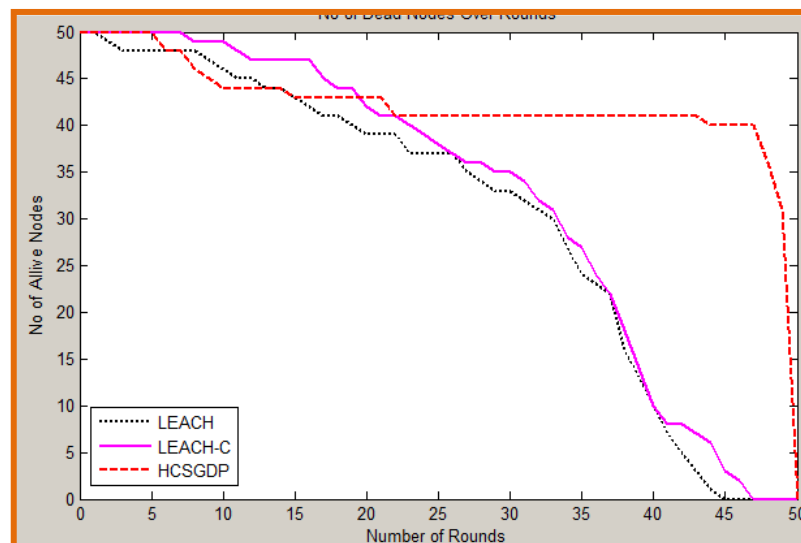


Figure IV. 5: Nombre des nœuds vivants.

D'après la Figure VI.5, nous remarquons que le nombre de nœuds vivants diminue avec l'évolution des rounds des trois protocoles LEACH, LEACH-C et HCSGDP il

reste des nœuds vivant jusqu'à aux 50 rounds contrairement au LEACH-C dont les nœuds sont totalement mort après les 46 rounds et LEACH-C dont les nœuds sont totalement mort après les 45 rounds. Cela due à la distribution optimale CH.

IV.5.3 Nœuds morts

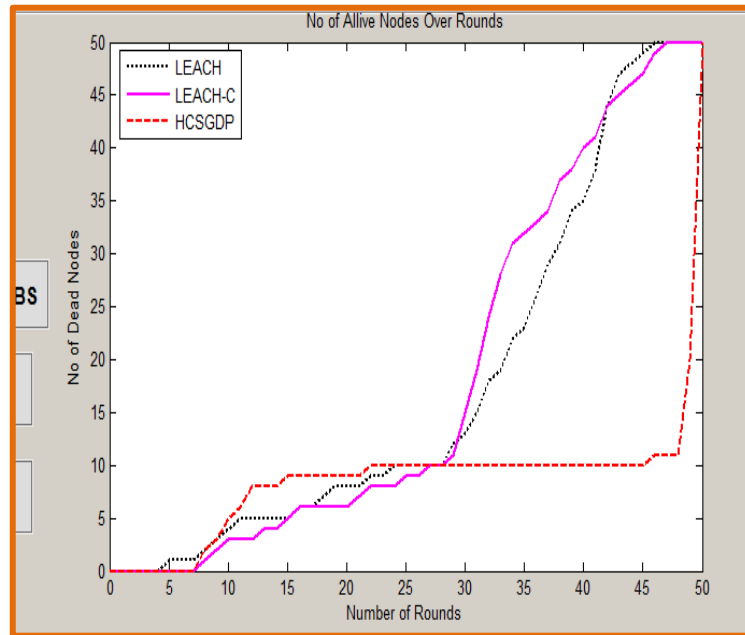


Figure IV. 6: Nombre des nœuds morts

D'après la Figure VI.6, on constate que le nombre de nœuds morts augmente avec le développement des rounds des protocoles : LEACH, LEACH-C et le protocole proposé tel que les nœuds restent vivants jusqu'au round 50, contrairement à LEACH et LEACH-C dont les nœuds sont complètement morts après 45 rounds.

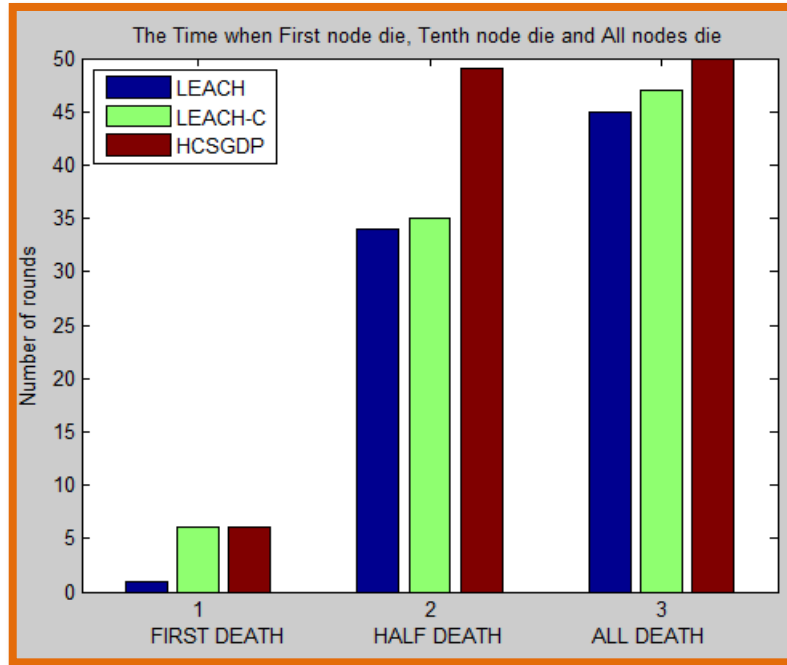


Figure IV. 7: Les ronds relatif au premier nœud mort et demi-nœuds morts et derniers nœuds morts.

Figure VI.7: présente le premier nœud mort à travers les tours de simulation pour les trois protocoles. Nous remarquons sur ce graph que notre protocole surpasse les autres (LEACH et LEACH-C) en terme de stabilité FDN car donne une indication osseuse de la durée de vie du réseau. Et même pour la période d'instabilité de HDN et LDN.

Ainsi, nous concluons que notre protocole HCSGDP améliore la durée de vie du réseau et surpasse LEACH et LEACH-C

IV.5. 4 paquets envoyée à la BS

Le tableau IV.6 représente Le nombre paquets reçu par la station de base dans certain rond

d'après les protocoles suivante:

Round	Leach	Leach-C	HCSGDP
1	16	50	50
10	131	318	320
20	216	640	650
30	310	782	800
40	400	900	1010
50	442	920	1050

Tableau .6: Le nombre paquets reçu par la station de base dans certain rond.

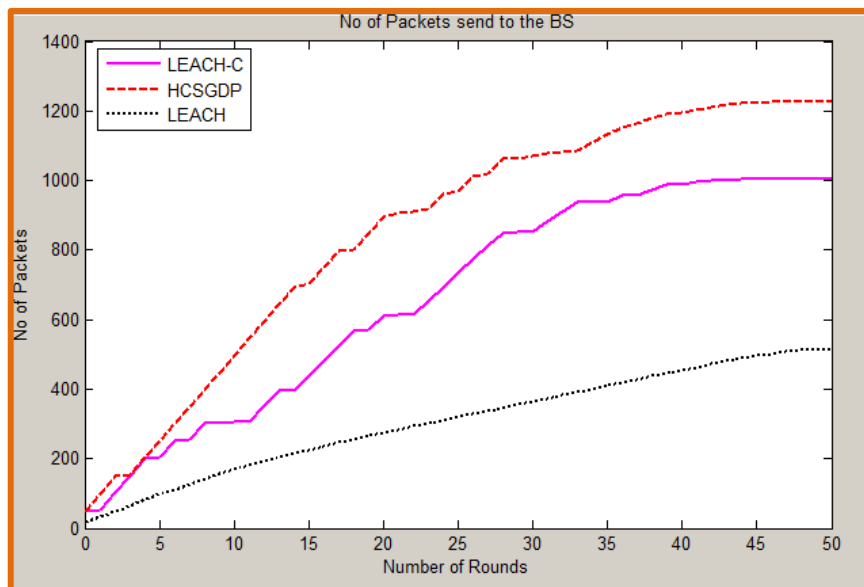


Figure IV. 8: Nombre de paquet reçu parla station de base.

La Figure VI.8 présente la quantité de données reçues à la station de base par rapport au nombre de tours pour les trois protocoles.

D'après le graphique, il est clair que pour les trois protocoles (LEACH, LEACH-C, HCSGDP) les données reçues par BS augment avec l'évolution du nombre de tours jusqu'à ce qu'il devient stable (pas de données à envoyer). Dans le LEACH, la transmission est arrêtée après le 43 round, protocole LEACH-C les données sont envoyées à la BS jusqu'au round 45 ème. Par contre dans notre protocole HCSGDP les données sont envoyées à la BS jusqu'au 50ème round .Cette amélioration est due à la capacité de notre protocole proposé à collecter efficacement les données des nœuds et à prolonger la durée de vie du réseau, et cela est dû à la sélection optimale des CHs .

IV.6. Discussion et résultats

La simulation de notre algorithme est l'étape la plus importante du travail car nous pouvons démontrer les améliorations apportées en termes d'économies d'énergie et de longévité du réseau en analysant les résultats présentés. Après avoir comparé notre protocole avec les deux protocole LEACH, LEACH-C, nous avons remarqué que notre protocole présente de nombreux avantages, concernant la consommation d'énergie, l'augmentation des données reçues par la station de base pour prolonger la durée de vie du réseau et une bonne répartition du CH. cela est dû à :

LEACH et LEACH-C consomment plus d'énergie que HCSGDP;

- ❖ affecte le nombre de tours sur la durée de vie du réseau, car à chaque tour, les CH et les nœuds membres perdent de l'énergie. Cette consommation dépend du nombre de paquets et de la distance entre l'émetteur et le récepteur.
- ❖ le moment auquel le premier nœud meurt (FND) donne une bonne indication de la durée de vie du réseau.
- ❖ Utilisation de l'algorithme de recherche de coucou inspiré de la nature combiné avec gaussien pour améliorer la recherche locale.
- ❖ Utilisation de l'algorithme de recherche de coucou avec gaussien pour améliorer le fonctionnement de la recherche de Lévy sur les CH .

IV.7 Conclusion

A la fin de ce chapitre, et après la simulation nous confirmons l'efficacité de notre protocole HCSGDP qui permet de trouver des solutions optimales. Les résultats de simulation montrent l'efficacité de notre protocole en termes d'économie d'énergie, de quantité de données transmises à la station de base et par rapport au protocole LEACH et LEACH-C. Cela confirme la validité de l'algorithme CS, et sa simplicité de mise en œuvre lui confère un grand avantage.

Conclusion générale

Conclusion générale

Le réseau de capteur sans fil Il peut être défini comme un réseau sans fil auto-fabriqués sans infrastructure pour surveiller les matériaux ou les conditions environnementales, telles que la température, la pression, le mouvement, le son, les vibrations ou les polluants

Le réseau de capteurs sans fil comprend une quantité considérable d'éléments de capteurs d'énergie petits et limités qui sont transférés arbitrairement ou physiquement vers une région cible sans surveillance

La propagation généralisée des capteurs, parfois en grand nombre et sans contrôle, se traduit par une perte d'énergie significative, rendant difficile le changement ou la recharge de leurs batteries

Des protocoles et des algorithmes ont été utilisés pour réduire la consommation d'énergie pour les capteurs. Par contre, le taux de consommation d'énergie des capteurs est toujours variable selon les protocoles utilisés précédemment

Dans cette mémoire, nous sommes concentrés sur la sauvegarde de l'énergie dans les réseaux de capteurs sans fil. Utilisation d'algorithmes biologiques inspirés de la nature (recherche coucou) et la distribution Gaussien.

Différents protocoles de routage ont été évalués (LEACH, LEACH-C), ces protocoles de routage sont comparés à notre protocole proposé à l'aide d'un environnement MATLAB sur Windows 10

Les simulations ont montré de bons résultats dans la plupart des cas, une faible consommation d'énergie, prolongeant ainsi la durée de vie des réseaux.

En tant que travail futur, et pour améliorer les résultats obtenus, nous envisageons les perspectives suivantes :

- ✍ Implémentation d'autres algorithmes bio inspirés pour améliorer la durée de vie du RCSF

- ✍ Une hybridation entre l'algorithme de recherche coucou avec d'autres méta-heuristique de la littérature
- ✍ La simulation du protocole proposé sur un simulateur dédié aux RCSF comme NS2, OMNET++, ...etc



Références

Références

- [1] I.F. Akyildiz, W. Su, Y. Sankarasubramaniam, and E. Cayirci , “A Survey on Sensor Networks”. IEEE Communications Magazine, August 2002
- [2] BAHOU Djelloul "Une approche bio-inspiré pour un routage adaptatif efficace en énergie dans les réseaux de capteurs sans fil",Université Ahmed Draia– Adrar2015
- [3] Liao, J., “Application of SimulatedAnnealingAlgorithm to Wireless SensorNetworks”,Athesis submitted to the Faculty of GraduateStudies and Research in partial fulfilmentof the requirements for the degree of Master of, Engineering in TechnologyInnovationManagementJune 2006.
- [4] Siham Ouali et Yamina Bourouba "Application de théorie des graphes dans réseau de capteur sans fil",Université Ahmed Draia– Adrar 2016
- [5] DLIM Rekia et TOUATI Meryem "Une approche bio-inspiré basé pour la conception d'un protocole de routage à base de clustering dans les RCFS ",Université Ahmed Draia– Adrar 2017
- [6] M.A. Matin and M.M. Islam, “Overview of Wireless Sensor Network, Additionalinformation”, <http://dx.doi.org/10.5772/49376>
- [7] Boudjaadar Amina ; « Plateforme basée Agents pour l'aide à la conception et la simulation des réseaux de capteurs sans fil ». Thèse de Magistère ;Université de Skikda ; 2009/2010.
- [8] Abhishek Deb, Akhil N Gaikwad, Mrs. Vandana C P,” A SURVEY ON ANALOGY ON WIRELESS SENSOR NETWORKS”, International Journal of Computer Science and Mobile Computing, , April- 2016
- [9] Fahmy, H. M. A. “Protocol Stack of WSNs. In Wireless Sensor Networks “, (2016).
- [10] V. Raghunathan, C. Schurgers, S. Park, and M. B. Srivastava, “Energy-awarewirelessmicrosensor networks”.IEEE Signal Processing Magazine, Vol. 19, No. 2, March 2002, pp.40-50.

- [11] 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.
- [12] Manal Abdullah, AishaEhsan2 , "RoutingProtocols for Wireless Sensor Networks: Classifications and Challenges", Department of Information System, Faculty of 60 Computing and Information Technology FCIT, King AbdulazizUniversity KAU, Jeddah, SaudiArabia
- [13] E.DHIB « Routage avec QoS temps réel dans les réseaux de Capteurs »Ingénieur en Télécommunications option : Ingénierie des réseaux, école supérieure de communication de Tunis,2006/2007.
- [14] K.Beydoun . « Conception d'un protocole de routage hiérarchique pour les réseaux de capteurs »Thèse de doctorat, Spécialité :Informatique, l'u.f.r des sciences et techniques de l'université de Franche-Comté,2009
- [15] S. Lindsey and C. Raghavendra, "PEGASIS: Power-Efficient Gathering in Sensor Information Systems". Proceedings of the IEEE Aerospace Conference, vol. 3, BigSky, MT, USA, March 2002, pp. 1125-1130.
- [16] Xuxun Liu, "A Survey on ClusteringRoutingProtocols in Wireless Sensor Networks", School of Electronic and Information Engineering, South China University of Technology
- [17] VenkataVijayaGeeta ,Pentapalli, Ravi KiranVarma P,"CuckooSearchOptimization and its Applications: A Review" . International Journal of Advanced Research in Computer and Communication Engineering ISO, November 2016.
- [18]Gooders, J. (1998) PtičiSlovenije in Evrope, Priročnik, Mladinskaknjiga, Ljubljana.
- [19] WikipediKukavice [online] <http://sl.wikipedia.org/wiki/Kukavice> (accessed on 11/06/2019)
- [20]IztokFister Jr.*, DušanFister and IztokFister ,"A comprehensivereview of cuckoosearch: variants and hybrids" , Int. J. MathematicalModelling and Numerical Optimisation, 2013.
- [21] Črepinšek, M., Liu, S-H. andMernik, M. (2013) 'Exploration and exploitation in evolutionary algorithms : a survey', ACM Comput. Surv., Vol. 45, No. 3, pp.1–33
- [22] VenkataVijayaGeeta ,Pentapalli, Ravi KiranVarma P,"CuckooSearchOptimization and its Applications: A Review" . International

Journal of Advanced Research in Computer and Communication Engineering ISO, November 2016.

[23] M. D. Li, H. Zhao, X. W. Weng and T. Han, "A novel nature-inspired algorithm for optimization: virus colony search," Advances in Engineering Software, vol. 92, pp. 65-88, 2016.

[24] Houcque, D., "Introduction To MATLAB For Engineering Students", Northwestern University, 2005.

[25] <https://www.editionseni.fr/open/mediabook.aspxidR=0b16c845af520518a3a48584a7b4675a>

[26] V. Kawadia and P. R. Kumar, "Power Control and Clustering in Ad Hoc Networks", IEEE INFOCOM. (2003).

[27] T. Kwon and M. Gerla, "Clustering with Power Control", In Proceedings MILCOM '99, volume 2. (1999).

[28] Guangsong Yang, Mingbo Xiao, En Cheng, and Jing Zhang, "A cluster-head selection scheme for underwater acoustic sensor networks," Communications and Mobile Computing (CMC), 2010 International Conference on, vol. 3, pp. 188 - 191, Apr. 2010

[29] MOSTAFA BAGHOURI, ABDERRAHMANE HAJRAOUI and SAAD CHAKKOR, "Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy for Three-dimensional Wireless Sensor Network", Recent Advances in Communications, 2015

[30] <http://hal-lirmm.ccsd.cnrs.fr/COC2019/hal-02296384v1>

<https://core.ac.uk/download/pdf/82600413.pdf>. [31]

[32] <https://dspace.univ-tlemcen.dz/bitstream/112/11163/1/Ms.Tel.Mehiaoui.pdf>

[33] [Etude comparative entre les protocoles de Routage RCSF 2017](#)

[34] http://www.researchgate.net/publication/322385852_performance_analysis_of_LEACH-GA_over_LEACH_and_LEACH-C_in_WSN