

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 d'Information et Technologie de Web / Systèmes
Intelligents

Thème

Optimisation de la consommation d'énergie dans
les réseaux de capteurs sans fil

Préparé par
NASSER Messaoud et BAKHOUYA Abdellah

Encadré par
Dr. KADDI Mohammed

Année Universitaire 2020/2021

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République algérienne populaire et démocratique

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique

UNIVERSITE AHMED DRAYA - ADRAR

BIBLIOTHÈQUE CENTRALE

Service de recherche bibliographique

N°.....B.C/S.R.B//U.A/2021



جامعة احمد دراية - ادرار

المكتبة المركزية

مصلحة البحث البليوغرافي

الرقم.....م.م.م.ب.ب.ب.أ.ج.أ. 2021

شهادة الترخيص بالإيداع

انا الأستاذ(ة): **تاجر محمد**

المشرف مذكرة الماستر.

الموسومة بـ : **Optimisation de la consommation d'énergie dans les réseaux de capteurs sans fil.**

من إنجاز الطالب(ة): **ناصر مسعود**

و الطالب(ة): **باخويا عبد الله**

كلية: **العلوم والتكنولوجيا**

القسم: **الرياضيات والإعلام الآلي**

التخصص: **FITW**

تاريخ تقييم / مناقشة: **2021 / 06 / 29**

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

- امضاء المشرف: **د. تاجر محمد**

ادرار في : 09 / 08 / 2021

مساعد رئيس القسم:

ناصر محمد

قسم الرياضيات والإعلام الآلي
مكتبه بما بعد التدرج والبحث العلمي بكلية
العلوم والتكنولوجيا



ملاحظة: لاتقبل أي شهادة بدون التوقيع والمصادقة.

Résumé

Les travaux présentés dans ce mémoire s'inscrivent dans le cadre des réseaux de capteurs sans fil (RCSF). Ils traitent l'une des plus importantes problématiques rencontrées par ce type de réseaux, à savoir la consommation d'énergie. Dans ce travail, nous proposons un nouveau protocole nommé M_Bee_Colony (Modified Bee Colony) basé sur l'algorithme de colonie d'abeilles (Bee Colony algorithm) pour résoudre le problème de consommation d'énergie dans les réseaux de capteurs sans fil. Le protocole M_Bee_Colony vise à réduire la consommation d'énergie lors de la transmission des données collectées à la station de base (SB). Dans ce protocole proposé, une stratégie de construction de la chaîne reliant tous les nœuds de réseau basée sur certains principes de l'algorithme de colonie d'abeilles afin d'augmenter l'efficacité énergétique et par conséquent, la durée de vie global du réseau. Nous proposons deux scénarios de ce protocole selon le critère de sélection de leader de la chaîne construite. Les résultats de la simulation montrent que notre deuxième scénario de notre protocole M_Bee_Colony suggéré minimise la consommation d'énergie des nœuds de capteurs et prolonge la durée de vie globale du réseau par rapport au premier scénario.

Mots-clés : Réseaux de capteurs sans fil, M_Bee_Colony, algorithme de colonie d'abeilles, consommation d'énergie, énergie résiduelle, durée de vie.

Abstract

The work presented in this thesis falls within the framework of wireless sensor networks (WSN). They address one of the most important issues encountered by this type of network, namely energy consumption. In this work, we propose a new protocol named M_Bee_Colony (Modified Bee Colony) based on the Bee Colony algorithm to solve the problem of energy consumption in wireless sensor networks. The M_Bee_Colony protocol aims to reduce power consumption when transmitting the collected data to the base station (BS). In this proposed protocol, a strategy of building the chain connecting all network nodes based on certain principles of the bee colony algorithm in order to increase the energy efficiency and hence the overall lifespan of the network. We propose two scenarios of this protocol according to the selection criterion of the leader of the constructed chain. The simulation results show that our second scenario of our suggested M_Bee_Colony protocol minimizes the power consumption of the sensor nodes and extends the overall network lifetime compared to the first scenario.



Keywords: Wireless sensor networks, M_Bee_Colony, bee colony algorithm, energy consumption, residual energy, lifespan.



Dédicace



Je dédie ce modeste travail A mes très chers parents En signe de ma profonde reconnaissance pour leur amour, tous les sacrifices, les soutiens, les tolérances et les encouragements qu'ils ont consentis à mon égard A mon frère et mes sœurs pour tous leurs encouragements A mon encadreur Dr. KADDI pour l'excellence de son accompagnement et la confiance qu'il nous a accordé. A tous mes collègues et amis du travail et tous ceux qui m'aiment.



Remerciements



En préambule à ce mémoire nous remercions ALLAH le tout puissant, qui nous a donné la force, la volonté et surtout le courage pour accomplir ce modeste mémoire. Nous souhaitons adresser nos remerciements les plus sincères tout d'abord au corps administratif de la faculté des sciences, à tous les enseignants de la spécialité SITW qui ont contribué à la réussite de cette formidable année universitaire. Ainsi qu'aux personnes du lab ST qui nous ont apporté leur aide pour l'élaboration de ce mémoire Nous tenons à remercier sincèrement " notre encadreur Dr. KADDI M qui, s'est toujours montré à l'écoute et très disponible tout au long de la réalisation de ce mémoire, ainsi pour l'inspiration, l'aide et le temps qu'il a bien consacré pour nous.



Table des matières

Résumé.....	I
Remerciements	III
Dédicaces	IV
Table des matières	VI
Liste des figures	XIII
Liste des tableaux	XV
Abréviations	XVI
Introduction générale	13
Chapitre 1	18
Généralité sur les RCSF.....	18
1.1 Introduction.....	19
1.2 Capteur - Définition et Explications.....	19
1.3 Les réseaux Ad Hoc.....	21
1.3.1 Définition :	22
1.4 Réseau de capteurs sans-fil	23
1.5 Description et caractéristiques.....	24
1.6 Caractéristiques des RCSF :	25
1.7 Architecteur d'un nœud capteur.....	25
1.7.1 Plates-formes	25
1.7.2 Matérielles.....	26
1.7.3 Logiciels	27
1.8 Applications	27
1.8.1 Applications militaires	27
1.8.2 Applications à la sécurité.....	28
1.8.3 Applications environnementales.....	29
1.8.4 Applications médicales.....	30
1.8.5 Applications commerciales.....	31
1.9 Pile protocolaire	33
1.10 Comparaison entre les RCSF et les réseaux sans fil classiques	34
1.11 Consommation d'énergie d'un nœud capteur sans fil	37
1.11.1.1 Niveau capture	37



1.11.2 Niveau traitement 37



1.11.3	Niveau communication	37
1.11.3.1	Mode de livraison des données.....	37
1.11.3.2	Module radio	37
1.11.3.3	Source de surconsommation d'énergie	38
1.12	Conservation d'énergie dans les RCSFs	38
1.13	Facteur intervenants dans la consommation des énergies.....	39
1.14	Conclusion	39
Chapitre 2		40
Protocoles de routage dans les RCSF		40
Sommaire		40
2	Introduction.....	41
2.1	Routage	41
2.1.1	Définition de routage	42
2.2	Types de routage	43
2.2.1	Routage à plat	43
2.2.2	Routage hiérarchique	44
2.2.3	Routage basé sur la localisation	44
2.2.4	Routage proactif.....	45
2.2.5	Routage réactif.....	45
2.2.6	Routage hybride (à la fois proactif et réactif)	45
2.3	Les architectures de communication dans les RCSF	45
2.4	Contraintes de conception d'un protocole de routage.....	47
2.4.1	Capacités réduites des capteurs.....	48
2.4.2	La taille du réseau.....	48
2.4.3	Déploiement des nœuds	48
2.4.4	La dynamique du réseau.....	48
2.4.5	Tolérance aux pannes.....	48
2.4.6	Qualité de service	49
2.5	La contrainte d'énergie pour le routage	49
2.5.1	Sources de consommation d'énergie	49
2.5.1.1	La longueur des chemins	49
2.5.2	Techniques économes en énergie.....	49



2.5.2.1	Ajustement des puissances de transmission.....	49
2.5.2.2	Distribution des charges.....	50
2.5.2.3	La formation des grappes.....	50
2.5.2.4	La réduction de données.....	50
2.5.2.5	Négociation des échanges de données.....	50
2.5.2.6	La qualité des liens.....	51
2.5.2.7	Le mode de communication.....	51
2.5.2.8	Le routage de paquets inutiles.....	51
2.5.2.9	Le choix d'un chemin.....	51
2.6	Exemple de protocoles de routage.....	51
2.6.1	Protocole LEASH(Low-Energy Adaptive Clustering Hierarchy).....	51
2.6.2	Algorithme détaillé de LEACH.....	52
2.6.2.1	Phase d'initialisation.....	52
2.6.2.1.1	Phase d'annonce.....	54
2.6.2.1.2	Phase d'organisation de groupes.....	55
2.6.2.1.3	Phase d'ordonnancement.....	55
2.6.2.2	Phase de transmission.....	56
2.6.3	Avantages et inconvénients de LEACH.....	56
2.6.3.1	Avantages.....	56
2.6.3.2	Inconvénients.....	56
2.6.4	Le protocole HEED (Hybrid, Eenergy-Efficient, Distributed approach).....	57
2.6.4.1	Paramètres de clustering.....	58
2.6.5	HEED (Hybrid, Eenergy-Efficient, Distributed approach).....	60
2.6.6	Protocole TEEN (Threshold sensitive Energy Efficient sensor Network protocol).....	60
2.6.6.1	Fonctionnement.....	62
2.6.6.2	Des caractéristiques importantes.....	62
2.6.6.3	Des caractéristiques importantes.....	63
2.6.7	Protocole de réseau hybride APTEEN.....	63
2.6.7.1	Des caractéristiques importantes.....	65
2.6.8	Performance Evaluation.....	66
2.6.8.1	Simulation Environnement.....	66
2.6.9	Le protocole SPIN (Sensor Protocol for Information via Negotiation).....	66



2.6.10	PEGASIS et PEGASIS hiérarchique	68
2.7	Conclusion	70
Chapitre 3		71
3	Introduction.....	72
3.1.1	Historique	72
3.1.2	Comportement des abeilles	73
3.1.3	Algorithme d'optimisation par colonie d'abeille.....	74
3.1.4	Domaines d'application.....	77
3.2	Conclusion	77
4	Chapitre 4	78
4.1	Introduction.....	79
4.2	Outils de développement.....	79
4.3	Contribution proposée	80
4.3.1	Modèle du réseau.....	80
4.3.2	Modèle d'énergie	81
4.3.3	Hypothèses	82
4.3.4	Description de la contribution proposée	82
4.3.4.1	Phase de construction de la chaîne.....	83
4.3.4.2	Phase de transmission de données.....	85
4.4	Simulation.....	85
4.4.1	Paramètres de simulation	85
4.4.2	Métriques de simulation	86
4.4.3	Résultats de simulation	86
4.4.3.1	Résultats	87
4.4.3.2	Analyses de résultats.....	88
4.5	Conclusion	89



Liste des Figures

Figure 1.1 : Différents constructeurs de nœuds de capteurs.....	20
Figure 1.2: quelques modèles de RCSF	20
Figure 1.3: Schéma interne d'un Capteur sans fil	21
Figure 1.4 : capteur de réseau AD-HOC.	21
Figure 1.5 : Exemple d'un réseau Ad-Hoc.....	22
Figure 1.6 : classification des réseaux.....	23
Figure 1.7 : Réseau de capteurs sans-fil.	24
Figure 1.8 : Architecture de communication d'un RCSF.....	25
Figure 1.9 : architecteur matérielle d'un capteur.....	26
Figure 1.10 : l'utilisation des RCSF dans le service militaire.....	28
Figure 1.11 : Applications à la sécurité.....	29
Figure 1.12 : applications environnementales.....	30
Figure 1.13 : Application médicales.....	31
Figure 1.14 : Application commerciales.....	32
Figure 1.15 : Applications des RCSFs.....	33
Figure 1.16: pile protocolaire des RCSFs.....	34
Figure 1.17 : déploiement du RCSF.....	35
Figure 2.18 : le routage dans les réseaux.....	42
Figure 2.19 : Les différents protocoles de routage dynamique.....	43
Figure 2.20 : Les protocoles de routage à plat.....	43
Figure 2.21 : Routage hiérarchique.....	44
Figure 2.22 : À gauche - Transmissions directes. Au centre - Transmission saut par saut. À droite - Hiérarchisation en clusters.....	46
Figure 2.23 :: Communication multi-sauts dans un réseau de capteurs sans fil.....	47
Figure 2.24 : Architecture du routage hiérarchique LEACH.....	52
Figure 2.25 : Opérations de l'étape d'initialisation.....	53
Figure 2.26 : Protocole LEACH.....	54
Figure 2.29 : Architecture du routage hiérarchique HEED.....	58
Figure 2.30 : HEED protocol pseudo-code.....	60
Figure 2.31 : Architecture du routage hiérarchique TEEN.....	61
Figure 2.32 : Chronologie pour TEEN.....	62
Figure 2.33 : Clustering hiérarchique dans TEEN et APTEEN.....	64
Figure 2.34 : Chronologie pour APTEEN.....	65
Figure 2.35 : Comparaison du no. de nœuds vivants pour LEACH, APTEEN et TEEN.....	65
Figure 2.36 : Comparaison de la dissipation énergétique moyenne pour LEACH, APTEEN et TEEN.....	66
Figure 2.37 : Le protocole SPIN.....	68



Figure 3.38 : la danse frétilante, appelée aussi en huit.....	74
Figure 3.39 : La danse en rond qu'effectue l'abeille en fonction de la direction de la source de nourriture.....	74
Figure 3.40 : algorithme de l'optimisation par colonie d'abeille.	76
Figure 4.1: Modèle du réseau de notre contribution proposée.....	78
Figure 4.2 : Le modèle de l'énergie utilisé.....	79
Figure 4.2: Algorithme proposé pour la phase de construction de la chaîne.....	82
Figure 4.3: Zone de simulation.....	84
Figure 4.4: Résultats de simulation de scénario 1 de notre protocole M_Bee-Colony.	85
Figure 4.5: Résultats de simulation de scénario 2 de notre protocole M_Bee-Colony.....	85



Liste des Tableaux

Tableau 1.1 : Comparaison entre un RCSF et un réseau Ad Hoc.	36
Tableau 2.2 : Consommation énergétique moyenne.	57
Tableau 4.1: Caractéristiques de l'ordinateur utilisé.....	77
Tableau 4.2: Paramètres de simulation utilizes.....	82



List des Abréviations

f_3 : Exposant d'atténuation	RFD : Reduced Function Device
ACK : Acknowledgement	RREP : Route Response
CBR : Constant Bit Rate	RREQ : Route Request
CCA : Channel Clear Assessment	RERR : Route Error
CEDAR: Core Extraction Distributed Ad hoc Routing	RTS : Request To Send
CLR: Clear	SINR: Signal to Interference plus Noise Ratio
AIN: AnalogiqueNumérique	SYNC : Synchronisation
CPU : Central Processing Unit	TCP : Transmission Control Protocol
CSMA : Carrier Sense Multiple Access	TDMA : Time Division Multiple Access
CTS : Clear To Send	TEEN : Threshold sensitive Energy Efficient sens or Network
DSR : Dynamic Source Routing	UDP : User Datagram Protocol
FFD : Full Function Device	UPD: Update
HSR : Hierarchical State Routing	WLAN : Wireless Local Area Network
Hz: Hertz	WP AN : Wireless Personal Area Network
IARP : Intra-zone Routing Protocol	ZRP : Zone Routing Protocol
ID : Identité	ADC : Analog-to-Digital Converter
IEEE: Institute of Electrical and Electronics Engineers	CMWSN : Connectivity Maintenance in the Wireless Sensors Networks
INI : Initialisation	DRFN : Detection and Replacement of a Failing Node
IP : Internet Protocol	FFD : Full Function Device
Kbps : Kilo bits par seconde	GPRS : General Packet Radio Service
KHz : Kilo Hertz	GSM : Global System for Mobile communications
KO : kilo-octet	IEEE : Institute of Electrical and Electronics Engineers
LAN: Local Area Network	PNC : Piconet Coordinator
LL : Link Layer	RCSF : Réseaux de Capteurs Sans Fil
LQI : Link Quality Indicator	RF : Radio Frequency
mis: Mètres/Seconde	RFD : Reduced Function Device
MA : Multicast Announcement	WINS : Wireless Integrated Network Sensors
MAC: Media Access Control	WPAN : Wireless Personal Area Network
RAM : Random Access Memory	ZC : ZigBee Coordinator
MHz: MégaHz	ZED : ZigBee End Device
ms : Milliseconde	ZR : ZigBee Router
NED : Network Definition	MANETs : Mobile Ad hoc
NS : Network Simulator	
OSI : Open Systems Interconnection	
P2P : Peer-to-Peer	
PAN: Personal Area Network	
QoS : Quality of Service	
QRY: Query	
RCSF : Réseau de Capteurs Sans Fil	
RF : Radio Fréquence	



Introduction General

Les réseaux sans fil connaissent un succès croissant dans les domaines scientifiques et industriels depuis leur création. Cette technologie a su s'imposer comme un acteur de premier plan dans les topologies actuelles des réseaux de communication en raison de ses différents avantages.

En effet, en raison de leur support de transmission, la radio, les réseaux sans fil offrent un certain nombre d'avantages, notamment des coûts d'équipement inférieurs, une facilité d'installation et une ubiquité de l'information. Les réseaux sans fil ont évolué vers une variété de conceptions, y compris les réseaux cellulaires, les réseaux locaux sans fil, les réseaux ad hoc, etc.

Les réseaux de capteurs sans fil (RCSF) sont des réseaux ad hoc, généralement constitués d'entités autonomes miniaturisées, appelées nœuds capteurs qui peuvent communiquer entre eux par liaisons radio. Le CWHS a suscité beaucoup d'enthousiasme dans la recherche scientifique, en raison de nouveaux problèmes de routage sous de sévères limitations de durée de vie du réseau et en tenant compte de la faible capacité de traitement des nœuds.

En raison des caractéristiques et des contraintes de ce type de réseau, Bien que plusieurs approches aient été présentées et explorées dans le but de réduire la consommation d'énergie dans un réseau de capteurs, le clustering s'est avéré être la technique la plus efficace pour la conservation de l'énergie.

L'objectif de présent mémoire est la proposition d'un nouveau protocole nommé M_Bee_Colony (Modified Bee Colony) basé sur l'algorithme de colonie d'abeilles (Bee Colony algorithm) pour résoudre le problème de consommation d'énergie dans les RCSFs. notre protocole M_Bee_Colony proposé vise à réduire la consommation d'énergie lors de la transmission des données capturées à la SB. Dans ce protocole proposé, une stratégie de construction de la chaîne reliant tous les nœuds de réseau basée sur l'algorithme de colonie d'abeilles afin d'améliorer l'efficacité énergétique et prolonger la durée de vie du réseau. Selon le critère de sélection de leader de la chaîne construite, deux scénarios de ce protocole ont été proposés.

Ce mémoire est structuré en quatre chapitres :

Dans le premier chapitre, nous avons présenté les différents concepts liés aux réseaux de capteur sans fil et les différentes caractéristiques des RCSF, et la comparaison entre eux, et aussi la quantité d'énergie consommée dans chaque niveau de capture et les méthodes de conservation d'énergie.



Le deuxième chapitre est consacré aux protocoles et les algorithmes utilisés pour l'optimisation de consommation d'énergie dans les RCSFs.

L'algorithme de colonie d'abeille, historique et comportement des abeilles et les différents algorithmes d'optimisation et les domaines d'application sont illustrés dans le troisième chapitre.

Dans le quatrième chapitre nous proposons un algorithme qui est nommé Modified Bee Colony (M_Bee_Colony Algorithm) ainsi que la solution proposée et enfin la simulation et les résultats.



Chapitre 1

Généralité sur les RCSF

Sommaire

1	Chapitre : 1	18
	Généralité sur les RCSF	18
1.1	Introduction	19
1.2	Capteur - Définition et Explications	19
1.3	Les réseaux Ad Hoc	21
1.4	Réseau de capteurs sans-fil	23
1.5	Description et caractéristiques	24
1.6	Caractéristiques des RCSF :	25
1.7	Architecteur d'un nœud capteur	25
1.8	Applications	27
1.9	Pile protocolaire	33
1.10	Comparaison entre les RCSF et les réseaux sans fil classiques	34
1.11	Consommation d'énergie d'un nœud capteur sans fil	37
1.12	Conservation d'énergie dans les RCSFs	38
1.13	Facteur intervenants dans la consommation des énergies	39
1.14	Conclusion	39



1.1 Introduction

Les avancées réalisées dans les domaines de la microélectronique, de la micromécanique et des technologies de communication sans fil au cours des dernières décennies ont permis de réaliser des composants d'un volume de quelques millimètres cubes à un coût raisonnable. Ces derniers, appelés micro-capteurs, comprennent une unité de capture qui enregistre les grandeurs physiques (chaleur, humidité et vibrations) et les convertit en données numériques. [1]

Les micro-capteurs sont donc de véritables systèmes embarqués. Un réseau de capteurs sans fil est constitué par le déploiement de nombreux d'entre eux afin de collecter et d'envoyer des données environnementales à un ou plusieurs sites de collecte de manière autonome.

C'est l'une des 10 nouvelles technologies qui, selon le magazine Technology Review du MIT, vont révolutionner le monde et notre façon de vivre et de travailler.

1.2 Capteur - Définition et Explications

Un capteur est un appareil qui convertit l'état d'une quantité physique observée en une quantité utilisable, telle qu'une tension électrique, une hauteur de mercure, une intensité ou une déviation de l'aiguille. le capteur comporte au moins un transducteur [1].

Parce qu'il n'est qu'une simple interface entre un processus physique et des informations manipulables, le capteur diffère de l'instrument de mesure. L'instrument de mesure, d'autre part, est un équipement autonome et autonome. En conséquence, il dispose soit d'un affichage, soit d'un système de stockage de données. Avec le capteur, ce n'est pas toujours le cas.[2]

Les capteurs sont les composants fondamentaux de la collecte de données. Un capteur est constitué de quatre unités principales [3]

- The sensing unit consists of a physical capture device that collects data from the surrounding environment and an analog/digital converter called an ADC (Analog to Digital Converter) that converts the data and sends it to the processing unit.
- L'unité de traitement est composée de deux interfaces : une pour l'unité d'acquisition et une pour l'unité de transmission. Un processeur et une mémoire sont également inclus



dans cet appareil. Il reçoit les données de l'unité d'acquisition et soit les mémorise, soit les transmet à l'unité émettrice.

- L'unité de communication (unité émetteur-récepteur) est composée d'un émetteur et d'un récepteur (module radio) qui assure la transmission et la réception de toutes les données.
- L'unité d'alimentation est chargée de réguler l'énergie et d'alimenter tous les composants du capteur. Il se compose généralement d'une batterie finie et irremplaçable, qui a fait de l'énergie la principale contrainte du capteur.

Plusieurs industriels et universités ont développé leurs propres nœuds de capteurs [6]. Le tableau suivant décrit quelques acteurs principaux de ce marché.

Figure 1.1 : Différents constructeurs de nœuds de capteurs.

Nœud	Unité de traitement	Module RF	Constructeur
MICAz	ATmega 1281	CC2420	UCB
Telos	MSP 430	CC2420	Moteiv
iMote	ARM7TDMI	Bluetooth	Intel
Pluto	MSP430	CC2420	Harvard
Cicada1	MC9S08GT60	MC13193	Tsinghua
BSNNode	MSP 430	CC2420	Imperial
WINS	PXA255	802.11b	Sensoria

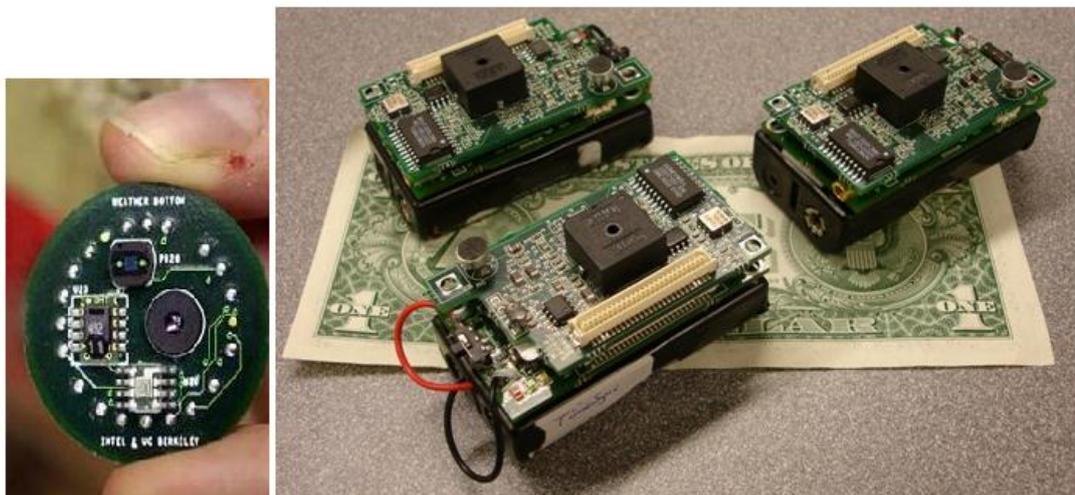


Figure 1. 2: quelques modèles de RCSF



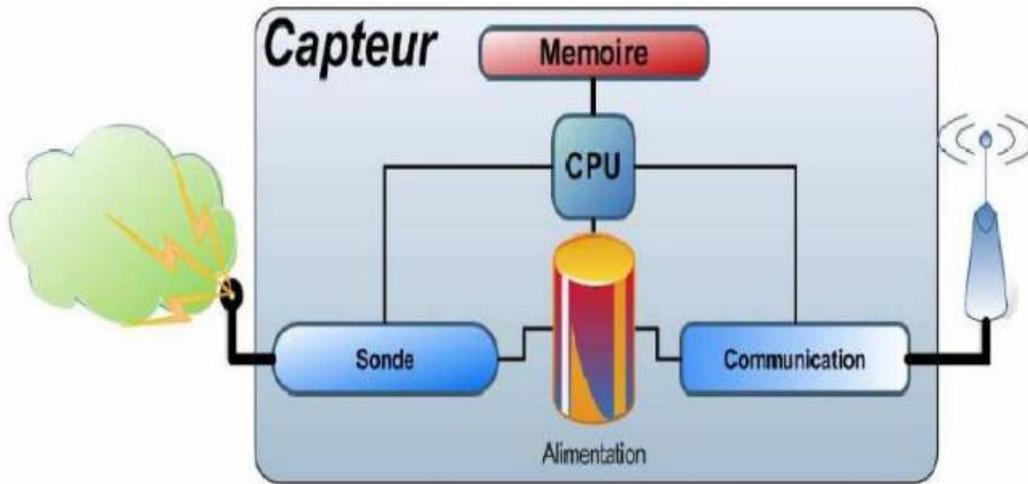


Figure 1. 3: Schéma interne d'un Capteur sans fil.

1.3 Les réseaux Ad Hoc

Les réseaux ad hoc sont une tentative d'élargir la définition de la mobilité pour inclure tous les aspects de l'environnement mobile. Contrairement aux réseaux reposant sur la connectivité cellulaire, aucune gestion centralisée n'est disponible ici. Les hôtes mobiles eux-mêmes créent une architecture de réseau sur une base ad hoc. La taille du réseau ad hoc n'est pas supposée potentiellement. [4]

Les réseaux ad hoc conviennent aux applications qui ne nécessitent aucune infrastructure préexistante, telles que les applications militaires ou d'autres applications tactiques telles que la lutte contre les incendies, le sauvetage en cas de tremblement de terre et les missions exploratoires.



Figure 1. 4 : capteur de réseau AD-HOC.



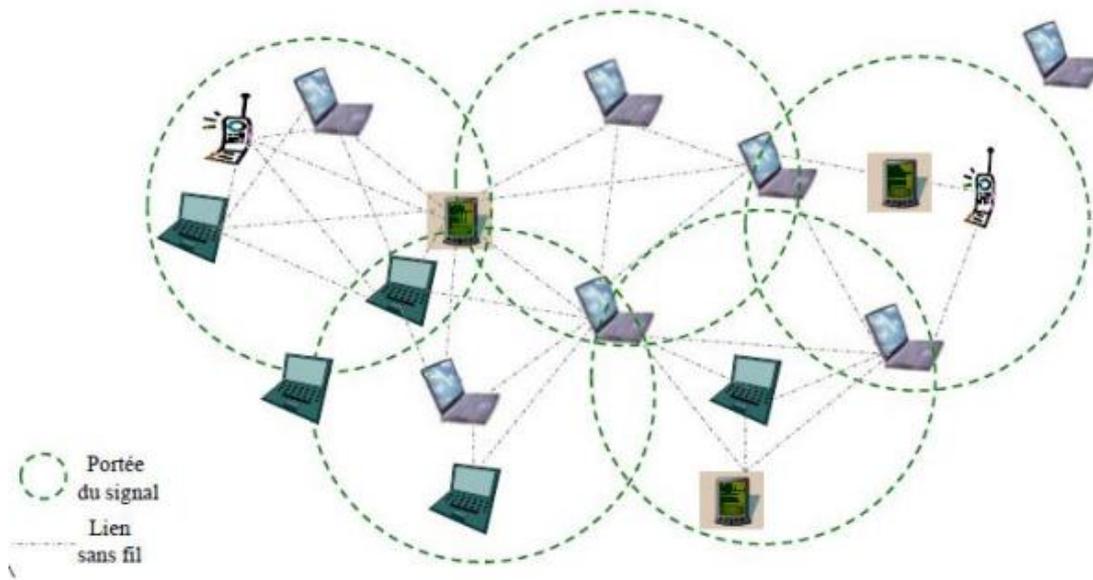


Figure 1. 5 : Exemple d'un réseau Ad-Hoc.

1.3.1 Définition :

Un réseau ad hoc, également connu sous le nom de MANET (Mobile Ad hoc Network), est un groupe d'unités mobiles ayant des interfaces de communication sans fil qui établissent un réseau temporaire sans utiliser d'infrastructure fixe ou d'administration centralisée [33]. Les unités agissent en tant qu'hôtes et/ou routeurs dans de tels contextes.

Les émetteurs et récepteurs sans fil sont utilisés par les nœuds MANET, qui peuvent être omnidirectionnels (diffusion), très dirigés (point à point) ou une combinaison des deux. En fonction de leurs emplacements, de la configuration de leurs émetteurs-récepteurs, de la puissance de transmission et des interférences entre les canaux de communication, ils travaillent ensemble pour assurer la connectivité du réseau. Les simulations. Un réseau ad hoc peut être isolé, mais il peut aussi avoir des passerelles ou des interfaces qui le relient à un réseau fixe.



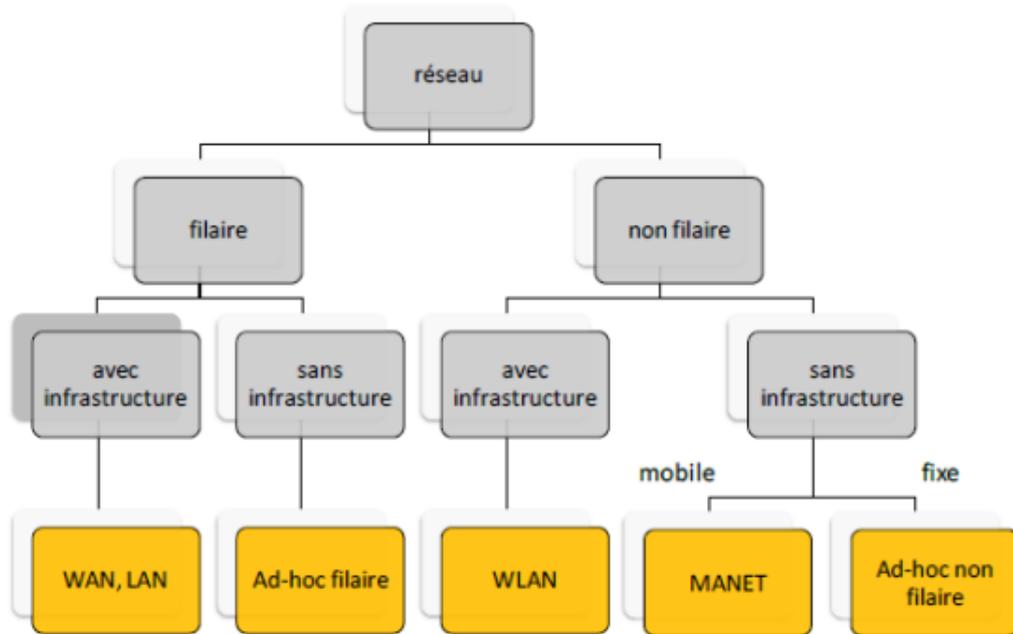


Figure 1. 6 : classification des réseaux.

1.4 Réseau de capteurs sans-fil

Grâce aux récents progrès dans le domaine de la technologie sans fil, de nouveaux réseaux de capteurs viennent en aide à l'environnement et à l'industrie. Pour de nombreuses applications industrielles et scientifiques, la capacité d'observer et de contrôler des phénomènes physiques tels que la température, la pression et même la luminosité est essentielle depuis des décennies. Dans le domaine de l'écologie, la surveillance des polluants tels que l'ozone, le NO₂ ou encore le CO. Il n'y a pas si longtemps, le seul moyen d'acheminer les données d'un capteur vers un contrôleur central était d'utiliser un câblage, qui présentait l'inconvénient d'être à la fois coûteux et peu pratique. De nouvelles solutions basées sur les réseaux de capteurs sans fil sont maintenant utilisées pour récupérer ces données environnementales, grâce aux récents progrès de la technologie sans fil. Il y a certainement des usages militaires en plus de ces usages civils, etc.[5]



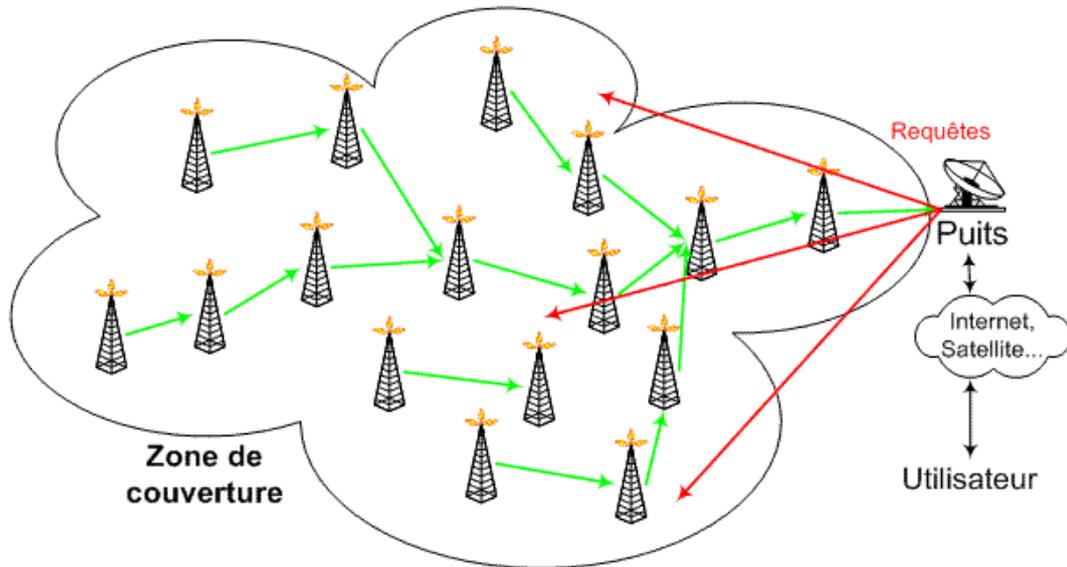


Figure 1. 7 : Réseau de capteurs sans-fil.

1.5 Description et caractéristiques

Les réseaux de capteurs sans fil (WSN) sont une sorte de réseau ad hoc unique. Les nœuds de ce type de réseau sont constitués d'un grand nombre de micro-capteurs capables de collecter et d'envoyer eux-mêmes des données environnementales. Le placement de ces nœuds n'est pas toujours prédéterminé. Ils sont dispersés au hasard dans une zone géographique appelée champ de captage, qui définit la zone intertidale. Les données enregistrées sont dirigées par routage multi-sauts vers un nœud récepteur, qui est considéré comme un "point de collecte". Ce dernier peut se connecter à l'utilisateur du réseau via satellite ou Internet. En conséquence, l'utilisateur peut faire des requêtes aux autres nœuds du réseau, indiquant le type de données nécessaires, et collecter des données environnementales à partir du nœud récepteur.



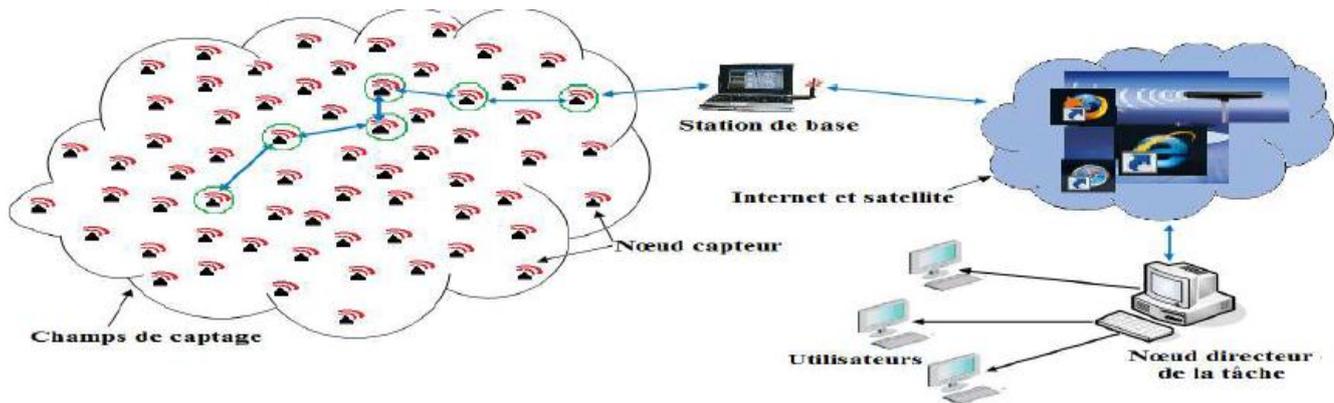


Figure 1. 8 : Architecture de communication d'un RCSF.

1.6 Caractéristiques des RCSF :

Voici quelques-unes des propriétés d'un réseau de capteurs sans fil (RCSF) [7]:

- ❖ Les ressources de calcul, de mémoire et d'énergie des capteurs sont limitées.
- ❖ Durée de vie limitée.
- ❖ Mode de communication : direct ou multi-sauts.
- ❖ Haute densité de capteurs, qui pour certaines applications peut atteindre des dizaines de millions.
- ❖ Le réseau peut être divisé en clusters et les capteurs peuvent être utilisés comme ordinateurs ou agrégateurs.
- ❖ Collaboration de nœud de capteur pour des tâches complexes.
- ❖ Les capteurs n'ont pas d'identifiant global..
- ❖ Il existe deux modes de fonctionnement : « un à plusieurs », dans lequel la station de base diffuse des données à plusieurs capteurs, et « plusieurs à un », dans lequel les nœuds de capteurs transmettent des données à la station de base.

1.7 Architecteur d'un nœud capteur

1.7.1 Plates-formes

La pile à double protocole Bluetooth / Zigbee est l'une des plus idéales pour une utilisation dans les réseaux de capteurs sans fil. La technologie Bluetooth, développée par Ericsson en 1994 et normalisée sous la norme IEEE 802.4.15, vise à construire et maintenir des réseaux



personnels, ou PAN (Personal Area Network). Un réseau comme celui-ci est utilisé pour transférer des données à faible vitesse sur de petites distances entre des appareils appropriés. Malheureusement, cette technologie a une limitation importante en termes de consommation d'énergie, elle ne peut donc pas être utilisée par des capteurs alimentés par une batterie et devrait durer plusieurs années. La norme ZigBee, lorsqu'elle est associée à IEEE 802.15.4, fournit des caractéristiques qui aident les réseaux de capteurs à économiser de l'énergie. ZigBee a des vitesses de données plus faibles que Bluetooth, mais il consomme beaucoup moins d'énergie. Pour un réseau de capteurs où les fréquences de transmission sont sans importance, un faible débit n'est pas un inconvénient. Malgré cela, les industriels recourent de plus en plus à des procédés propriétaires, qui présentent l'avantage d'être précisément optimisés pour un certain usage mais présentent l'inconvénient important d'être incompatibles entre eux.

1.7.2 Matérielles

L'avenir des réseaux de capteurs sera fortement influencé par les nouvelles méthodologies. L'Ultra Wide Band (UWB) en est un bel exemple. En raison de sa simplicité matérielle, ce mécanisme de transmission pourra atteindre des niveaux de consommation incroyablement bas. De plus, le signal créé par les barrières est moins atténué qu'avec les systèmes radio à bande étroite typiques.

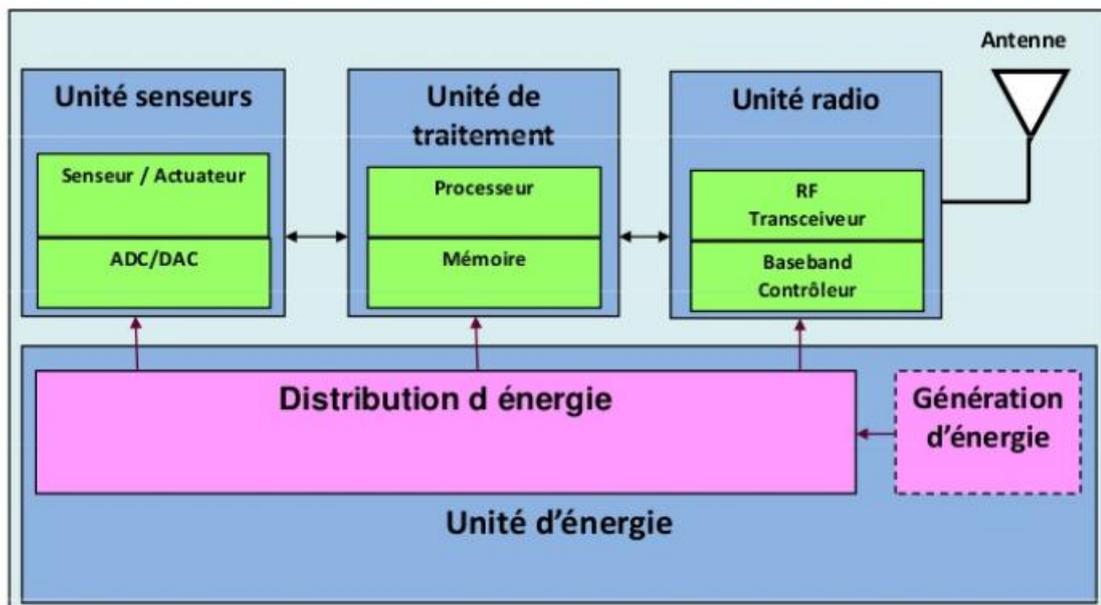


Figure 1. 9 : architecteur matérielle d'un capteur.



1.7.3 Logiciels

En conséquence, le domaine des capteurs sans fil est sur le point d'exploser, avec une multitude de nouveaux appareils qui devraient arriver sur le marché dans les années à venir. D'autant que des solutions « open-source », comme TinyOS, qui a été développée à l'université de Berkeley, sont liées à ce succès avéré. TinyOS est un système d'exploitation « open source » pour les capteurs sans fil intégrés, utilisé par plus de 500 universités et instituts de recherche dans le monde. Les programmes de cette plateforme sont entièrement écrits en NesC. (dialecte de C). La caractéristique clé de ce système d'exploitation est son empreinte mémoire incroyablement minimale (quelques kilo-octets).

1.8 Applications

Les réseaux de capteurs envahissent des champs d'applications variés en raison de la taille réduite des micro-capteurs, de leur coût décroissant, de la vaste gamme de types de capteurs disponibles (thermiques, optiques, vibrations, etc.) et du support de communication sans fil utilisé. Ils améliorent également les applications existantes et facilitent la création de nouvelles, telles que le contrôle et l'automatisation des chaînes de montage. Les réseaux de capteurs ont le potentiel de transformer notre façon de penser et de construire des systèmes physiques complexes. Lorsqu'il s'agit de collecter et de traiter des informations provenant de l'environnement, les réseaux de capteurs peuvent être très utiles dans une variété d'applications. Militaire, environnemental, domestique, sanitaire et sécuritaire ne sont que quelques-uns des domaines où ces réseaux peuvent avoir le plus d'impact. Des exemples d'applications potentielles dans ces différents domaines sont exposés ci-dessous.

1.8.1 Applications militaires

L'armée, comme de nombreuses autres technologies, a été un moteur du développement des réseaux de capteurs. Le déploiement rapide, le faible coût, l'auto-organisation et la tolérance aux pannes des réseaux de capteurs sont autant de caractéristiques qui en font un outil viable dans cette industrie. Considérons un réseau de capteurs placés à un endroit crucial comme exemple d'application dans cette discipline. Des tests concluants ont déjà été réalisés dans ce domaine par l'armée américaine dans le désert de Californie.





Figure 1. 10 : l'utilisation des RCSF dans le service militaire.

1.8.2 Applications à la sécurité

Des capteurs implantés dans les murs ou le béton pourraient détecter les changements dans la structure d'un bâtiment causés par un tremblement de terre ou l'âge, sans avoir besoin d'électricité ou d'autres connexions de câbles. Les capteurs doivent être activés régulièrement pour fonctionner pendant des années, voire des décennies. Un système d'alarme distribué composé de détecteurs de mouvement peut être utilisé pour détecter les intrusions sur une grande surface. Puisqu'il n'y a pas de point critique, la déconnexion du système sera plus difficile. Les réseaux de capteurs peuvent être utilisés pour surveiller les trains afin de prévenir les accidents impliquant des animaux et des humains. La protection des barrages pourrait être réalisée en incorporant des capteurs. Les fuites d'eau doivent être détectées dès que possible pour éviter tout dommage. Les humains sont conscients des dangers et des attaques auxquels ils sont confrontés. De ce fait, ils consacrent tout le personnel et les ressources financières nécessaires pour assurer leur protection. Cependant, des faiblesses subsistent dans les méthodes de sécurité actuelles, sans parler de leur coût astronomique. L'application des réseaux de capteurs dans le domaine de la sécurité pourrait diminuer considérablement les dépenses financières consacrées à la sécurisation des lieux et à la protection des êtres humains tout en garantissant de meilleurs résultats.





Figure 1.11 : Applications à la sécurité.

1.8.3 Applications environnementales

Les thermocapteurs largués d'un avion au-dessus d'une forêt peuvent détecter le début d'un incendie dans le champ de captage, ce qui permet une lutte plus efficace contre les incendies de forêt. Les capteurs peuvent être semés avec des graines dans les champs agricoles. Les régions sèches seront plus faciles à repérer et l'irrigation sera ainsi plus efficace. Dans les usines, les centrales nucléaires et les pétroliers, et informer les utilisateurs en temps opportun pour permettre une intervention efficace. En forêt ou dans une zone de conservation de la faune, un grand nombre de capteurs peuvent être déployés pour collecter diverses données sur l'état de l'environnement naturel et les comportements de déplacement. Par exemple, l'Université de Pise en Italie a développé des réseaux de capteurs pour la gestion des parcs naturels (incendies, animaux, etc.). Il est ainsi possible d'« observer » des espèces animales difficiles à rechercher dans leur milieu d'origine sans les déranger, et de proposer des stratégies plus efficaces pour la conservation de la faune. Les répercussions potentielles d'une dispersion généralisée des microcapteurs dans l'environnement ont suscité diverses inquiétudes. Chaque micro-capteur possède en effet une batterie qui contient des métaux dangereux. Néanmoins, le déploiement d'un million de capteurs de 1 millimètre cube chacun ne représente qu'un volume total d'un litre. Même si tout ce volume était constitué de batteries, cela n'aurait pas des répercussions désastreuses sur l'environnement.





Figure 1.12 : applications environnementales.

1.8.4 Applications médicales

Des micro-capteurs qui pourraient être mangés ou implantés sous la peau pourraient, à l'avenir, être utilisés pour surveiller les fonctions critiques d'une personne. Des micro-caméras pouvant être avalées sont actuellement disponibles. Ils sont capables de transmettre des photos de l'intérieur d'un corps humain jusqu'à 24 heures sans nécessiter de chirurgie. Des capteurs qui agissent à l'intérieur du corps humain pour traiter des maladies spécifiques sont présentés par les auteurs d'une étude récente. Leur objectif actuel est de développer une rétine artificielle composée de 100 microcapteurs qui les aideront à rectifier leur vision. D'autres utilisations biomédicales ambitieuses sont également présentées, telles que la surveillance de la glycémie, la surveillance des organes cruciaux et la détection du cancer. Dans le domaine médical, le déploiement de réseaux de capteurs pourrait permettre un suivi continu des patients ainsi que la collecte de données physiologiques de meilleure qualité, facilitant l'identification de divers troubles.



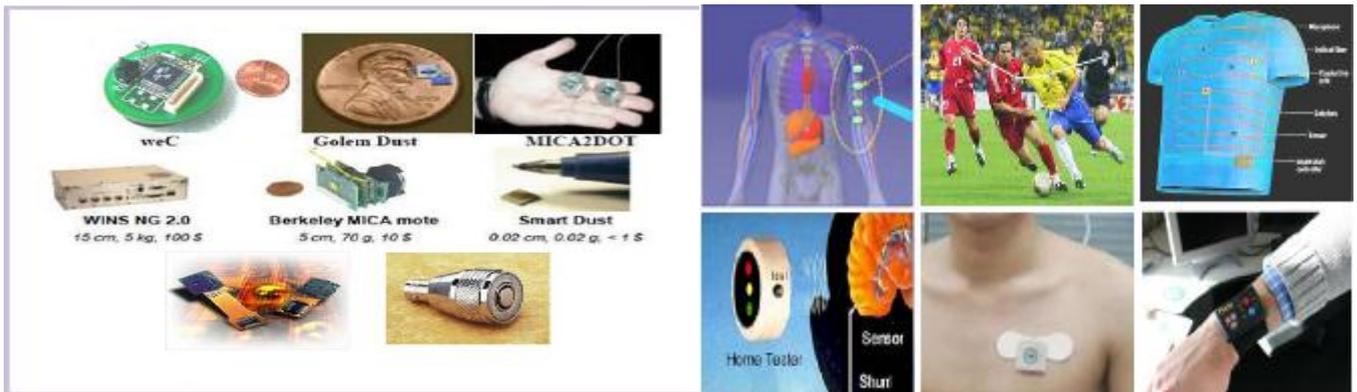


Figure 1.13 : Application médicales.

1.8.5 Applications commerciales

Les nœuds de capteurs peuvent être intégrés au processus de stockage et de distribution. Le réseau résultant peut être utilisé pour déterminer la position, l'état et la direction d'un paquet. Il est alors possible pour un client qui attend un produit de recevoir un avis de livraison en temps réel et de connaître l'emplacement actuel du colis. Les réseaux de capteurs seront bénéfiques pour les entreprises manufacturières. Les réseaux de capteurs permettent aux entreprises de fournir un service de meilleure qualité tout en réduisant les dépenses. Le système de climatisation dans un bâtiment peut être construit en incorporant plusieurs micro-capteurs dans les carreaux de sol et l'ameublement. Par conséquent, la climatisation ne peut être activée que dans des situations où des personnes sont présentes et uniquement si elle est vraiment indispensable. Le système distribué sera également en mesure de maintenir les pièces à une température constante. Si elle est mise en œuvre à grande échelle, cette application pourrait réduire la demande énergétique mondiale et donc les émissions de gaz à effet de serre. Avec une diminution de 35 millions de tonnes d'émissions de carbone dans l'air, cette économie est estimée à 55 milliards de dollars par an rien qu'aux États-Unis. Une telle conséquence environnementale serait donc un pas dans la bonne direction dans une situation mondiale où le réchauffement climatique devient une préoccupation majeure.





Figure 1. 14 : Application commerciales.



Figure 1. 15 : Applications des RCSFs.

1.9 Pile protocolaire

Une architecture en couches est utilisée pour assurer des fonctionnalités spécifiques et améliorer la force du réseau de capteurs sans fil. La figure 1 illustre la pile de protocoles utilisée par la station de base ainsi que tous les autres nœuds de capteurs du réseau. Ce modèle comporte cinq couches (une couche application, une couche transport, une couche réseau, une couche liaison de données et une couche physique) qui remplissent les mêmes fonctions que le modèle OSI, ainsi que trois niveaux (plans) : gestion de l'énergie, gestion de la mobilité et gestion des tâches.

- ✚ L'interface avec les applications est fournie par la couche application. De ce fait, c'est la couche la plus proche des utilisateurs et gérée directement par le programme. SMP (Sensor Management Protocol) et TADAP sont deux protocoles d'application que nous recommandons (Task Assignment et Data Advertisement Protocol).
- ✚ La couche transport garantit que les données sont envoyées correctement et que la qualité de la transmission est maintenue. La fiabilité de la transmission n'est pas une priorité dans RCSF. En conséquence, les erreurs et les pertes sont autorisées. En conséquence, un protocole de transport nommé UDP-Like (User Datagram Protocol Like) est utilisé, qui est similaire à UDP. Cependant, étant donné que TCP (Transmission Control Protocol) est le protocole de transport universel, le RCSF doit disposer d'une interface de fractionnement TCP lors de l'interaction avec un réseau externe pour garantir que les deux réseaux de communication sont compatibles.
- ✚ La couche réseau est responsable du routage des données fournies par la couche transport. Il détermine le chemin optimal entre les nœuds capteurs et le nœud récepteur en termes d'énergie, de latence de transmission, de vitesse et d'autres facteurs. Étant donné que les RCSF diffèrent des réseaux Ad Hoc de diverses manières, les protocoles de routage créés pour les RCSF diffèrent de ceux conçus pour les réseaux Ad Hoc:

- (1) L'absence d'adressage fixe des nœuds tout en utilisant un adressage basé-attribut.



(2) L'établissement des communications multi-sauts.

(3) L'établissement des routes liant plusieurs sources en une seule destination pour agréger des données similaires, etc. Parmi ces protocoles, nous citons : LEACH (Low-Energy Adaptive Clustering Hierarchy).

- ✚ Couche liaison de données : Elle est responsable de l'accès au media physique et la détection et la correction d'erreurs intervenues sur la couche physique. De plus, elle établit une communication saut-par-saut entre les nœuds. C'est-à-dire, elle détermine les liens de communication entre eux dans une distance d'un seul saut. Parmi les protocoles de liaison de données.
- ✚ Couche physique : La couche physique est responsable de la transmission et de la réception correctes des données, ainsi que de la sélection des fréquences et de la reconnaissance des signaux.

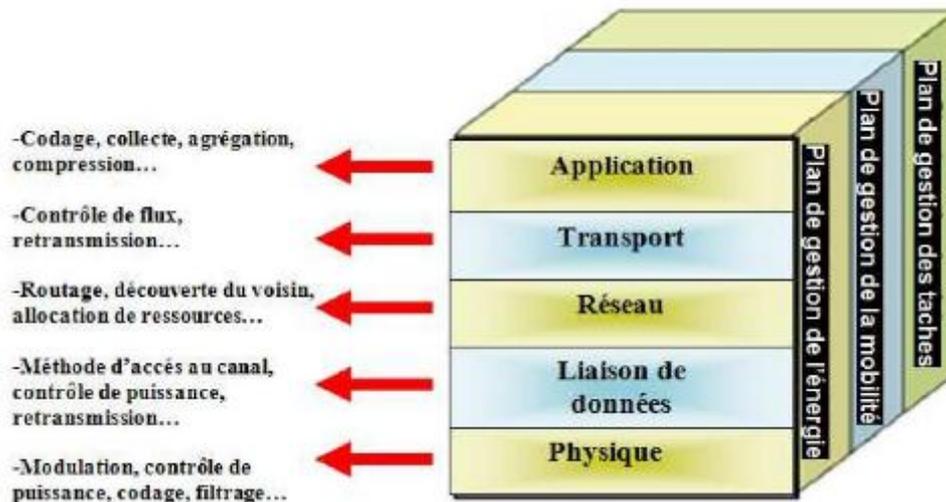


Figure 1. 16: pile protocolaire des RCSFs.

1.10 Comparaison entre les RCSF et les réseaux sans fil classiques

Une comparaison des RCSF et des réseaux sans fil traditionnels est présentée dans le tableau ci-dessous. Le nombre de nœuds, l'importance de la consommation d'énergie, l'importance de la QoS, l'identification des nœuds et les types de communication sont les cinq critères utilisés pour effectuer cette comparaison.



Un réseau de capteurs sans fil (RCSF) est un réseau ad hoc avec une torsion. Il existe diverses similitudes et distinctions entre les deux types de réseaux. Les similitudes essentielles peuvent être résumées comme suit:

- ❖ L'opération est effectuée sans l'utilisation d'une infrastructure établie.
- ❖ L'utilisation d'un support de communication sans fil.
- ❖ L'air est le moyen par lequel les informations sont échangées.
- ❖ Les interférences sont un problème qui peut survenir dans les communications. Des protocoles de routage multi-sauts sont utilisés.
- ❖ La majorité des protocoles d'accès au support fonctionnent en mode semi-duplex.
- ❖ Les protocoles d'accès au médium sont typiquement en mode half-duplex.
- ❖ Il existe également de nombreux sites de différence.
- ❖ Le nombre de nœuds qui composent un RCSF est sensiblement plus grand que le nombre de nœuds qui composent un réseau Ad Hoc.
- ❖ Les réseaux de capteurs ont une densité de déploiement plus élevée que les réseaux Ad Hoc.
- ❖ Contrairement aux réseaux Ad Hoc, RCSF a une faible mobilité.
- ❖ Dans les RCSF, le risque d'échec est plus élevé que dans les réseaux Ad Hoc.
- ❖ Par rapport aux réseaux Ad Hoc, la topologie du réseau de capteurs change souvent.
- ❖ Dans les RCSF, la communication est souvent diffusée (un à plusieurs ou plusieurs à un), mais dans les réseaux Ad Hoc, la communication est de point à point.
- ❖ Les RCSF, contrairement aux réseaux Ad Hoc, ont une capacité de calcul, de mémoire et d'énergie insuffisante.
- ❖ Les humains sont souvent incapables d'accéder aux fonctionnalités d'un réseau de capteurs sans fil. Les entités d'un réseau Ad Hoc sont directement accessibles.



Figure 1. 17 : déploiement du RCSF.



Tableau 1.1 : Comparaison entre un RCSF et un réseau Ad Hoc.

	RCSF	Réseau WLAN	Réseau cellulaire	Réseau WPAN
Nombre de nœuds	Très élevé	Diminué	Elevé	1 nœud maître avec 7 nœuds esclaves (Cas de Bluetooth)
L'importance de la consommation d'énergie	Très élevé	Diminué du fait que les nœuds peuvent être rechargés facilement.	Diminué du fait que les nœuds peuvent être rechargés facilement.	Diminué
Importance de la qualité de service	Diminué	Elevé	Elevé	Elevé
Identification des nœuds	Dépend de l'application (généralement pas de mécanismes d'identification pour éviter l'overhead)	Existe	Existe	Existe
Type de communication	broadcast, multicast, Convergecast...	Point à point	Du mobile vers la station de base et vice versa.	Du nœud maître vers le nœud esclave.



1.11 Consommation d'énergie d'un nœud capteur sans fil

Il est clair à travers les paragraphes précédents, que la consommation d'énergie est une considération fondamentale dans les RCSF pour la simple raison que la durée de vie d'un nœud est limitée dans le temps. L.Wang Y. Xiao[16] propose quatre modes de préservation d'énergie conformément à la structure interne d'un nœud capteur vue précédemment et qui sont résumées dans le Tableau 1.

1.11.1.1 Niveau capture

La capture est réalisée par les composants d'acquisition qui traduisent les phénomènes physiques en un signal électrique. La consommation énergétique du module de détection dépend de la spécificité du capteur. Dans de nombreux cas, elle est négligeable par rapport à l'énergie consommée par les modules de traitement et de communication. L'énergie consommée lors de la capture peut être réduite en utilisant des composants à faible consommation d'énergie. Une autre façon de réduire l'énergie consommée lors de la capture est de réduire le temps de capture.

1.11.2 Niveau traitement

L'énergie de procédé se compose de deux types d'énergie : l'énergie de commutation et l'énergie de fuite. L'énergie de commutation est déterminée par la tension d'alimentation et la capacité totale commutée au niveau logiciel (en exécutant le logiciel). D'autre part, l'énergie de fuite correspond à l'énergie consommée lorsque l'unité de calcul n'effectue aucun traitement. De manière générale, l'énergie de traitement est faible par rapport à l'énergie de traitement nécessaire à la communication.

1.11.3 Niveau communication

L'énergie échangée est composée de trois composantes : l'énergie reçue, l'énergie émise et l'énergie en veille. La quantité de données à envoyer, la distance de transmission et les paramètres physiques du module radio influencent tous la quantité d'énergie utilisée. La force d'un signal détermine sa transmission. La portée du signal est grande et la consommation d'énergie est importante lorsque la puissance de transmission est élevée. Veuillez garder à l'esprit que l'énergie de communication requise par les nœuds capteurs représente la majorité de l'énergie totale consommée par les nœuds capteurs. [26]. Dans le processus de communication, il y a plusieurs facteurs qui vont affecter la dissipation d'énergie, nous citons ces facteurs :

1.11.3.1 Mode de livraison des données

Le mode de la transmission de données a un impact direct sur le débit de transmission de données et, par conséquent, sur la durée de vie du réseau. Convertir la consommation d'énergie d'un mode de distribution à un autre. Dans l'application de surveillance d'événement ou d'objet, par exemple, le nœud doit surveiller en permanence sa radio, qui consomme plus d'énergie ; dans l'application de surveillance des incendies de forêt, en revanche, peu de données sont fournies et moins d'énergie est consommée.

1.11.3.2 Module radio

Les capteurs utilisent leurs modules radio pour assurer la communication entre les éléments du réseau. Le module qui consomme le plus d'énergie est celui-ci. Il dispose de quatre modes de fonctionnement : actif, émission, réception et veille.



- ✚ Mode actif : Le nœud ne reçoit ni ne transmet de données. Ce mode gaspille de l'énergie en écoutant inutilement le canal de transmission.
- ✚ Mode de transmission : la radio transmet un paquet.
- ✚ Mode réception : la radio reçoit un paquet.
- ✚ Mode veille : La radio a été éteinte.

1.11.3.3 Source de surconsommation d'énergie

Les principales sources de consommation d'énergie au niveau de la couche MAC seront discutées dans les sections suivantes. [25].

- ✚ Retransmission : Le même canal de transmission est partagé par tous les nœuds capteurs. De plus, la transmission simultanée de données à partir de plusieurs capteurs peut entraîner des collisions et, par conséquent, des pertes de données. Les informations perdues doivent être retransmises, ce qui consomme plus d'énergie.
- ✚ Écoute active : L'écoute du canal de communication pour un paquet potentiel peut faire perdre au nœud une quantité considérable d'énergie. Faites chavirer les nœuds en mode veille aussi longtemps que possible pour éviter ce problème.
- ✚ Overhead : Les protocoles MAC [32] échangent des messages de contrôle pour fournir une variété de fonctions, y compris la signalisation, la connexion et le développement d'un plan d'accès pour éviter les collisions. Tous ces messages doivent être échangés, ce qui nécessite plus d'énergie. Les trames de contrôle RTS / CTS (Request to Send / Clear to Send), par exemple, ne transmettent aucune donnée mais consomment de l'énergie lors de la transmission.
- ✚ Sur-transmission : Cela se produit lorsqu'un nœud de capteur fournit des données à une destination qui n'est pas prête à les recevoir. Ces données transférées consomment beaucoup d'énergie qui n'est pas nécessaire.
- ✚ Taille des paquets : La consommation d'énergie des nœuds d'envoi et de réception est affectée par la taille des paquets transférés dans le réseau. En conséquence, le paquet ne doit être ni trop gros ni trop petit. Le nombre de paquets de contrôle (acquittement) générés augmente d'overHead s'il est faible.

1.12 Conservation d'énergie dans les RCSFs

Des expérimentations ont révélé que le transfert de données consomme le plus d'énergie, alors que les calculs eux-mêmes en consomment très peu. [45]. La consommation énergétique du module de détection est déterminée par la spécificité du capteur. Elle est souvent insignifiante par rapport à l'énergie nécessaire au module de traitement, notamment au module de communication. Dans certaines circonstances, l'énergie nécessaire à la détection est comparable ou supérieure à l'énergie nécessaire à la transmission des données. En général, les techniques de conservation de l'énergie sont divisées en deux catégories. la gestion de l'énergie est prise en compte dans les opérations de chaque nœud, ainsi que dans la conception des protocoles de réseau), et le composant de détection (c'est-à-dire que des techniques sont utilisées pour réduire la fréquence d'échantillonnage énergivore).



1.13 Facteur intervenants dans la consommation des énergies

1.14 Conclusion

Les propriétés des nœuds de capteurs qui offrent des possibilités sont leur faible coût, leur petite taille, leur large gamme, leur facilité de déploiement, l'auto-organisation des capteurs, la prise en charge de la communication sans fil et la tolérance aux pannes. Développement massif de réseaux pour une large gamme d'applications. Cette large gamme d'applications soutient l'idée que les réseaux de capteurs sans fil deviendront un élément fondamental de notre vie quotidienne dans les années à venir et modifieront sans aucun doute nos modes de vie.

Cependant, la conception d'un réseau de capteurs résilients et fiables doit respecter des limites de durabilité et de sécurité spécifiques. En effet, une consommation d'énergie acceptable, le respect des restrictions physiques de calcul et de mémoire, et l'adaptation à l'environnement sont autant de caractéristiques qui doivent être considérées avant de concevoir un RCSF. De plus, différentes procédures de sécurité ont été établies afin de maintenir une fiabilité maximale du système, dans le but d'éliminer toute menace susceptible de compromettre la sécurité des informations partagées, qui sont souvent sensibles et stratégiques.

Dans ce chapitre, nous avons défini ce qu'est un RCSF. Nous avons évoqué brièvement les notions d'énergie, de routage, les différentes applications des RCSFs, des notions que nous allons développer profondément dans les chapitres à venir de ce mémoire.

Dans le chapitre suivant, nous allons étudier les protocoles de routage dans les RCSFs.



Chapitre 2

Protocoles de routage dans les RCSF

Sommaire

<u>2</u>	<u>Chapitre :2</u>	<u>40</u>
	<u>Protocoles de routage dans les RCSF.....</u>	<u>40</u>
<u>2.1</u>	<u>Introduction</u>	<u>41</u>
<u>2.2</u>	<u>Routage.....</u>	<u>41</u>
<u>2.3</u>	<u>Types de routage</u>	<u>43</u>
<u>2.4</u>	<u>Les architectures de communication dans les RCSF.....</u>	<u>45</u>
<u>2.5</u>	<u>Contraintes de conception d'un protocole de routage</u>	<u>47</u>
<u>2.6</u>	<u>La contrainte d'énergie pour le routage.....</u>	<u>49</u>
<u>2.7</u>	<u>Exemple de protocoles de routage.....</u>	<u>51</u>
<u>2.8</u>	<u>Conclusion.....</u>	<u>70</u>



2 Introduction

Dans les réseaux de capteurs sans fil, la technique consiste à acheminer les informations d'un nœud source récepteur vers une destination via un réseau d'alimentation. Chaque nœud peut être mis à disposition d'autres qui n'ont pas la possibilité d'atteindre directement la destination pour effectuer une transmission ou une retransmission d'informations transmises à travers le réseau par un ou plusieurs nœuds. Pour les réseaux plats, cet emplacement peut servir de nœud d'agrégation ou de station de base.

L'objectif du réseau, la conception du réseau, la manière d'atteindre une destination et les tâches allouées aux protocoles peuvent tous être utilisés pour classer les approches de routage. Le routage est une entreprise difficile qui nécessite la coopération de tous les nœuds du réseau. Tout cela en raison des propriétés de RCSF qui les distinguent des autres systèmes sans fil plus anciens, notamment en termes de capacité de calcul, de capacité de stockage et de consommation d'énergie des nœuds de capteur.

Le concept de routage dans les réseaux de capteurs sans fil est au centre de ce chapitre. Nous commencerons par décrire les différentes topologies de communication entre les éléments du réseau, ainsi que les restrictions de conception, les limitations énergétiques et les critères de performance des protocoles en charge de ces connexions. Selon l'objectif et la nature de l'application de RCSF, nous allons classer et présenter les principaux protocoles de routage tel que le protocole LEASH, HEED, TEEN, APTEEN et PEGASIS .

2.1 Routage

Les RCSF et les MANET (Mobile Ad hoc NETWORKS) partagent un certain nombre de caractéristiques communes, notamment un manque d'infrastructure et de communication sans fil. Cependant, l'un d'eux La portée des deux conceptions diffère considérablement. Les MANET (réseaux mobiles ad hoc) sont un type de réseau ad hoc [5]. Chaque nœud est directement connecté à ses voisins et doit envoyer des informations aux autres nœuds. Ces nœuds les achemineront en utilisant les informations fournies par d'autres nœuds. Il est nécessaire pour cela. Les nœuds sont positionnés les uns par rapport aux autres et peuvent être construits dans n'importe quel ordre. Le protocole de routage est chargé d'établir un lien entre eux.

Cela dépend de la façon dont les choses sont transportées et de la façon dont les itinéraires sont créés et gérés. Il existe deux types de protocoles de routage de données : les accords actifs et passifs. Routage avec un protocole actif préprogrammé Le protocole réactif est basé sur la table de routage, tandis que le protocole périodique est basé sur la table de routage. Recherchez des itinéraires disponibles sur demande.



2.1.1 Définition de routage

Le routage est le processus de sélection de chemins dans un réseau pour transporter des données d'un expéditeur à un ou plusieurs destinataires. Le routage est une tâche qui est effectuée dans une variété de réseaux, y compris le réseau téléphonique, les réseaux de données électroniques comme Internet et les réseaux de transport. Ses performances sont essentielles dans les réseaux décentralisés, car les informations sont partagées entre des agents indépendants plutôt que distribuées par une source unique. C'est ainsi que les e-mails, par exemple, sont distribués aux destinataires appropriés.

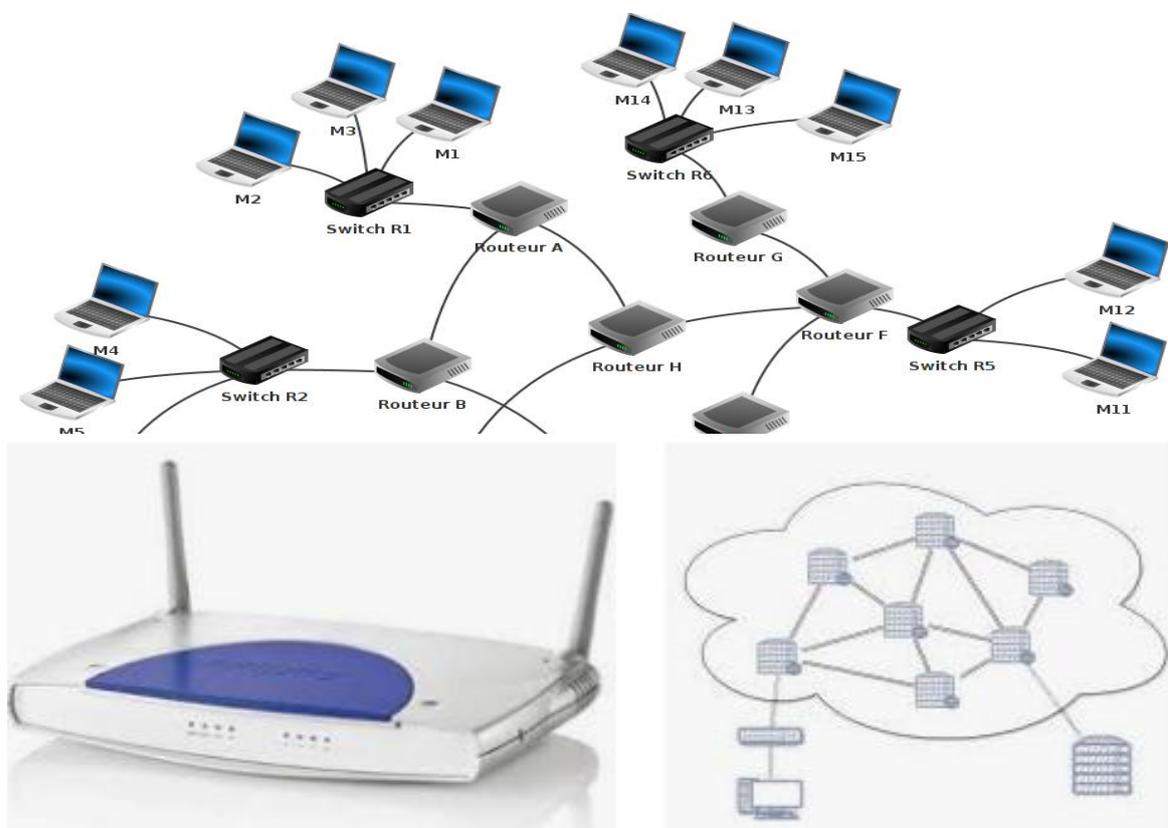


Figure 2. 18 : le routage dans les réseaux.



2.2 Types de routage

Le routage dans les réseaux de capteurs sans fil se classe généralement en [66]:

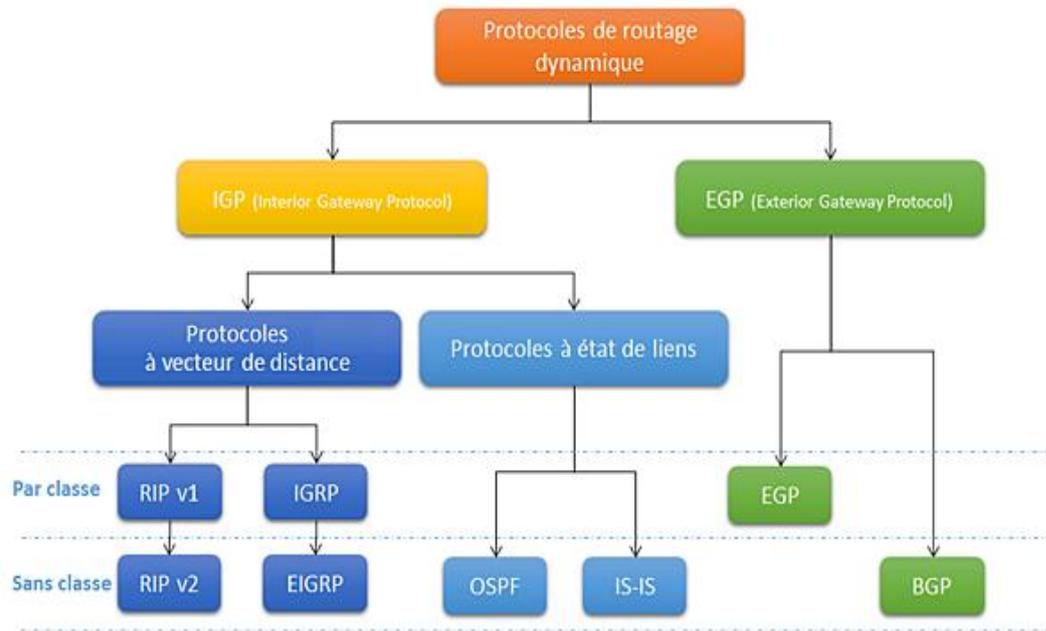


Figure 2. 19 : Les différents protocoles de routage dynamique.

2.2.1 Routage à plat

Les tâches des nœuds sont les mêmes dans cette route. C'est la méthode initiale de routage des données dans RCSF, et elle est basée sur la collaboration de tous les nœuds du réseau. Les avantages de ces nœuds sont leur simplicité, qui leur permet d'établir des communications sans coût supplémentaire car chaque nœud ne demande que des informations à ses voisins immédiats. L'inconvénient est que parce que tout le trafic doit passer par des nœuds adjacents, leur capacité énergétique s'épuise rapidement.

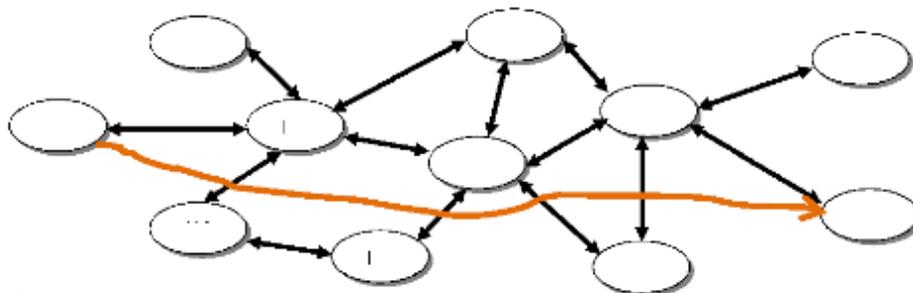
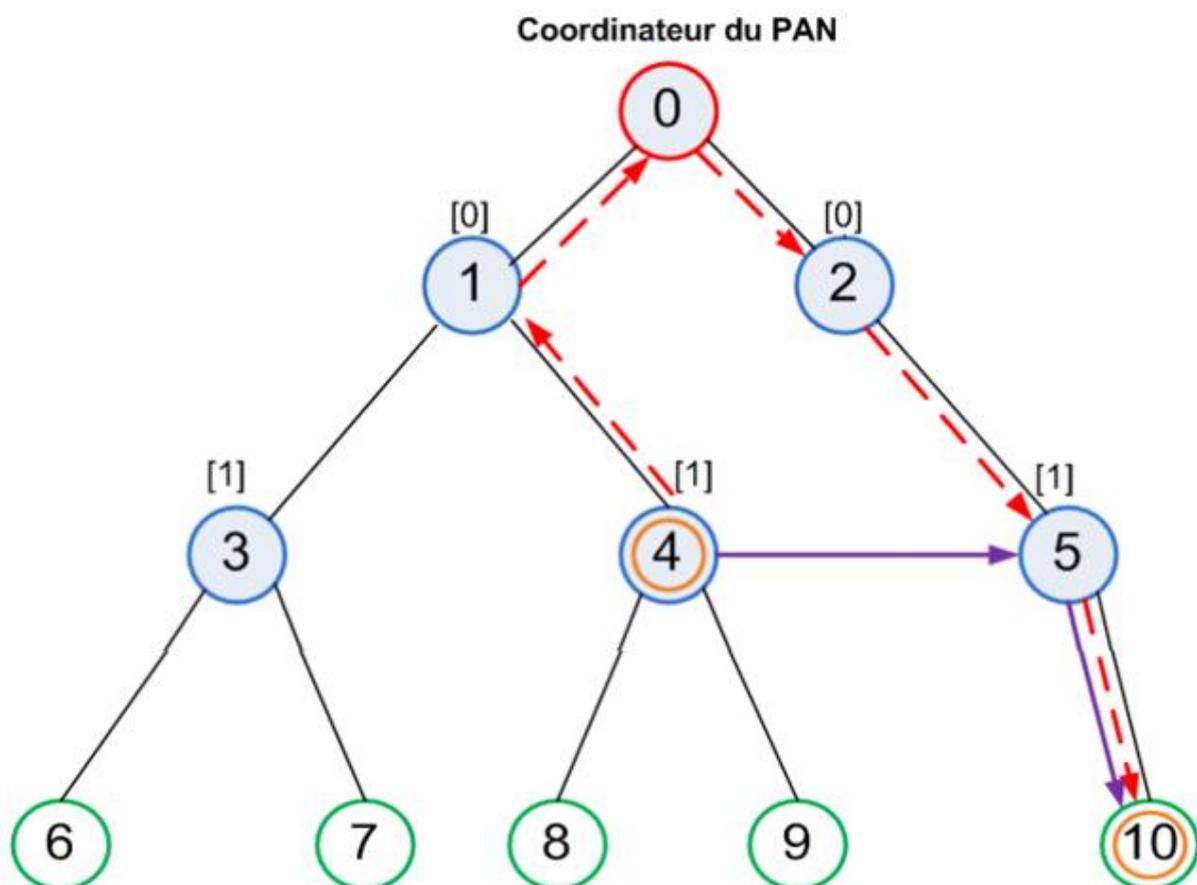


Figure 2. 20 : Les protocoles de routage à plat.



2.2.2 Routage hiérarchique

La création de cluster est la base de ce type de routage. De cette manière, le routeur envoie les données collectées à son gestionnaire de zone, qui les transfère ensuite vers la destination suivante après traitement. L'avantage est que les coûts de communication et d'énergie sont



réduits. L'échelle du réseau est un inconvénient.

Figure 2. 21 : Routage hiérarchique.

2.2.3 Routage basé sur la localisation

Dans cette stratégie, un système aléatoire de routeurs est utilisé car il se concentre sur l'emplacement à partir duquel les données sont collectées par brèves rafales. La technologie de suivi, en revanche, consomme beaucoup trop d'électricité.



2.2.4 Routage proactif

Ce routage est construit sur des tables qui utilisent une technique de calcul d'itinéraire pour stocker la connaissance des chemins à suivre par chaque donnée source jusqu'à sa destination. Ce routage nécessite une mise à jour régulière pour corriger certains chemins coupés en raison de la topologie due aux défaillances des nœuds capteurs.

2.2.5 Routage réactif

C'est ce qu'on appelle le routage à la demande, et il se concentre sur la conception de routes adaptées à l'application. Ce routage permet des économies d'énergie par rapport au routage de données proactif et lent, ce qui n'est pas idéal pour les applications interactives en temps réel.

2.2.6 Routage hybride (à la fois proactif et réactif)

Dans son service, ce routage combine les avantages du routage proactif et réactif.

Les techniques de routage de réseau de capteurs sans fil adaptent les solutions aux limites matérielles et énergétiques des nœuds de capteurs, ainsi qu'aux caractéristiques uniques du RCSF.

En utilisant des méthodes de découverte de route adaptées pour répondre aux limites et aux caractéristiques du RCSF, un protocole de routage évalue le coût de la communication entre une source et sa destination. Nous mentionnons quelques-uns de ces protocoles.: LEACH, TEEN, APTEEN, PEGASIS etc.

2.3 Les architectures de communication dans les RCSF

La communication entre entités du réseau est définie par l'échange d'informations qui se produit à la suite d'un événement déclenché par un nœud capteur ou d'une requête diffusée sur la station de base.

Les techniques de communication sont influencées par un certain nombre d'éléments, notamment le domaine d'application du réseau, l'environnement de déploiement et les objectifs du réseau.

Dans des situations dangereuses, les réseaux de capteurs sans fil sont fréquemment utilisés sans aucune infrastructure fondamentale, sans aucune information sur la position des nœuds de capteurs et donc sur l'architecture du réseau.

Les nœuds capteurs doivent s'autoorganiser et construire une infrastructure de communication autonome qui leur permet de s'engager les uns avec les autres et d'établir un chemin depuis



n'importe quel nœud capteur vers n'importe quelle destination du réseau dans des circonstances identiques réseau. Au cours du processus de transmission de données et d'informations, un nœud de capteur sert de collecteur, d'intermédiaire ou à la fois de collecteur et d'intermédiaire.

Les conceptions de communications multi-sauts sont mises en œuvre à l'aide de nœuds intermédiaires. Dans certaines circonstances, et ceci est inhabituel pour RCSF, si les nœuds capteurs et la station de base sont dans la même portée de communication radio, ils peuvent communiquer entre eux en un seul saut.

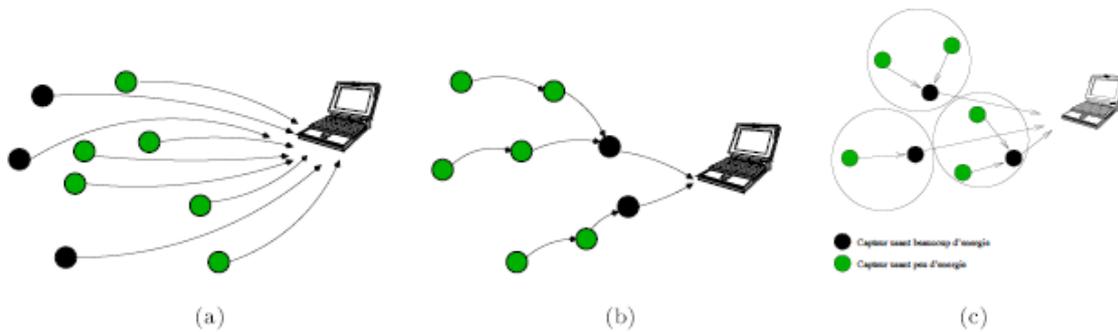


Figure 2. 22 : À gauche - Transmissions directes. Au centre - Transmission saut par saut. À droite - Hiérarchisation en clusters.

La figure 22. Montre un exemple d'un réseau constitué de plusieurs nœuds capteurs. Il s'agit d'une communication multi-sauts entre le nœud collecteur C4 et la station de base et d'une communication en un seul saut entre C1 et la station de base. A partir de cette organisation, on distingue quatre types de communications dans les réseaux de capteurs sans fil :

- Communication directe entre un nœud collecteur et un autre nœud collecteur (cas des nœuds C4 et C5) : ce type de communication est généralement utilisé dans des opérations locales telles que la procédure de création de routes ou pendant le processus de clustérisations [68].
- Communication entre un nœud collecteur et un nœud intermédiaire (cas des nœuds C4 et C3) : Puisque le nœud collecteur n'est pas en mesure d'atteindre directement la station de base, ses données collectées sont transmises à un nœud intermédiaire se trouvant dans sa portée radio.



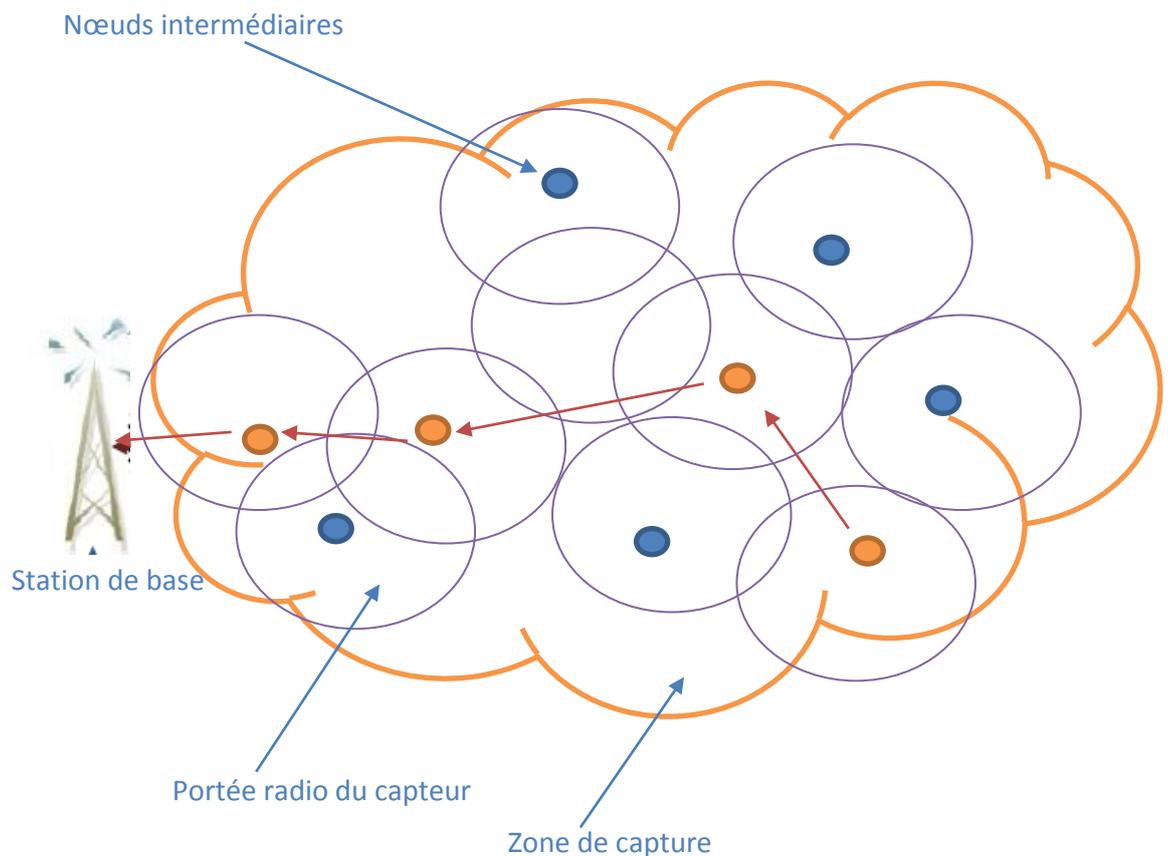


Figure 2. 23 :: Communication multi-sauts dans un réseau de capteurs sans fil.

c. Communication entre un nœud intermédiaire et un autre nœud intermédiaire (cas de C3 et C2) : souvent en unicast [17], ce type de communication a pour rôle d'installer un réseau de connexion entre le nœud collecteur et la station de base.

d. Communication entre un nœud intermédiaire et la station de base (cas du nœud C1) : c'est la dernière étape avant la réception finale des données par la station de base. Cette communication peut concerner également une transmission directe entre un nœud collecteur et la station de base.

2.4 Contraintes de conception d'un protocole de routage

Dans ce qui suit nous allons expliquer quelques contraintes des caractéristiques des protocoles de communication et de routage de données dans les réseaux sans fil pour la conception de protocoles robustes et fiables.



2.4.1 Capacités réduites des capteurs

Le développement de mécanismes complexes, volumineux et complets qui s'exécutent sur des processeurs puissants et qui nécessitent des tailles mémoire importantes est empêché par les capacités réduites des capteurs en calcul, en mémoire et en énergie.

2.4.2 La taille du réseau

Le nombre de nœuds d'un réseau de capteurs sans fil est souvent important et sa topologie change fréquemment avec la défaillance ou l'ajout de certains nœuds capteurs. Ce changement de topologie provoque une maintenance et une mise à jour régulière des schémas de gestion de routes. Ainsi, la réorganisation du réseau et la mise à jour des tables de routage, ou parfois le changement de l'approche de routage utilisée selon les nouvelles données, implique la participation d'un grand nombre de nœuds capteurs, ce qui est difficile à gérer par les protocoles de routage.

2.4.3 Déploiement des nœuds

Les nœuds d'un RCSF peuvent être déployés d'une manière sélective ou aléatoire. Dans un environnement de déploiement sélectif où les nœuds capteurs sont placés à la main, les protocoles de routage peuvent utiliser directement les informations pré-chargées sur les capteurs avant leur déploiement sur la zone de captage. On parle alors de routage prédéterminé.

2.4.4 La dynamique du réseau

Dans la plupart des applications des réseaux de capteurs sans fil, l'emplacement des nœuds sur une zone de captage est souvent statique et les positions des capteurs sont fixes et invariables, ce qui maintient régulièrement à jour l'état des liens et les informations de routage stockées sur les nœuds capteurs. Néanmoins, des facteurs externes comme les vents, les orages, et autres conditions climatiques ainsi que le facteur humain (d'une manière accidentelle ou ciblée) et animal peuvent changer le positionnement géographique des nœuds capteurs et engendrer l'apparition ou la disparition de liens entre les nœuds ce qui va altérer au processus de routage.

2.4.5 Tolérance aux pannes

La panne ou l'épuisement d'un capteur ne peut pas altérer le fonctionnement du routage car un mécanisme de gestion et de prise en charge de pannes doit être prévu et mis en place.



2.4.6 Qualité de service

Un protocole de routage doit veiller au respect des délais d'acheminement et à préserver l'intégrité des données émises car un message, une donnée ou une information arrivant après un certain délai ne serait peut-être plus utilisable surtout dans des applications temps réel.

2.5 La contrainte d'énergie pour le routage

La consommation d'énergie est la métrique la plus importante dans l'évaluation de la durée de vie des capteurs et des performances d'un réseau de capteurs sans fil. La source d'énergie des capteurs, conçus pour fonctionner durant des mois et même des années et alimentés par des batteries de capacité limitée, doit être utilisée de façon optimale pour toute tâche effectuée, notamment la communication et l'échange d'informations, entre les entités du réseau. Plusieurs métriques et techniques sont utilisées par les protocoles de routage afin d'optimiser les sources de consommation d'énergie au niveau de la couche réseau.

2.5.1 Sources de consommation d'énergie

Les sources de consommation d'énergie au niveau de la couche réseau sont diverses [10] :

2.5.1.1 La longueur des chemins

Les paquets de données suivent des chemins en un certain nombre de sauts. Le coût d'un saut en termes d'énergie est mesuré par la distance qui sépare les deux nœuds. Concernés par la communication, et le coût global du routage est la somme des énergies consommées à tous les sauts. Les chemins les plus longs sont les plus gourmands en énergie.

2.5.2 Techniques économes en énergie

Parmi les techniques et les métriques les plus économes en énergie utilisées par les protocoles de routage, on cite :

2.5.2.1 Ajustement des puissances de transmission

L'énergie de transmission consommée par le nœud émetteur lors de l'envoi d'un message dépend directement de la puissance de transmission. Certains protocoles de routage prennent en compte les 43 Distances entre les nœuds. Afin d'optimiser le choix sur la puissance de transmission minimale à utiliser et de réduire la consommation d'énergie.



2.5.2.2 Distribution des charges

La solution de distribution des charges entre les nœuds. Participants au routage de données est très efficace aux problèmes de congestion de charges où les paquets émis empruntent toujours les mêmes nœuds., ce qui provoque l'épuisement rapide de leur énergie. En effet, les protocoles de routage calculent le coût énergétique de tous les chemins entre la source et sa destination et choisissent le chemin le moins couteux en termes d'énergie [23]. Le calcul du coût énergétique se fait par le nœud source sur la base des puissances de transmission.

2.5.2.3 La formation des grappes

La technique de partitionnement du réseau, notamment ceux ayant une densité importante de nœuds., pour la formation de grappes permet une meilleure gestion du routage sur plusieurs niveaux. Chaque sous ensemble (grappe) est constitué d'un certain nombre de nœuds. Possédant des propriétés ou des tâches communes, regroupés autour d'un nœud chef considéré comme le nœud collecteur de la grappe. Par ailleurs, le nœud collecteur coordonne et ordonnance les activités des nœuds. Membres du groupe en autorisant certains nœuds. à se mettre en veille, ou bien en ajustant les puissances de transmissions ou alors en organisant les instances de transmission afin d'éviter les collisions et par conséquent les retransmissions. Le risque d'épuisement de l'énergie des nœuds. Chef est pris en charge par la station de base qui procède à leur remplacement par d'autres nœuds. A chaque intervalle de temps ou à chaque diminution critique de leur capacité énergétique.

2.5.2.4 La réduction de données

La réduction de données consiste à empêcher deux ou plusieurs nœuds. Qui couvrent une même zone de captage de transmettre des données décrivant le même événement, en éliminant les données redondantes par des nœuds. Dits agrégateurs, ce qui réduit le nombre de transmissions et par conséquent la quantité d'énergie dissipée.

2.5.2.5 Négociation des échanges de données

Les nœuds du réseau entament une négociation sur les données à transmettre en diffusant un message contenant une métadonnée décrivant les données à transmettre. Les nœuds. intéressés par ces données manifestent leur intérêt et les reçoivent en entier. La sélection des nœuds. Destinataires par l'intérêt réduit la bande passante et la consommation d'énergie du réseau.



2.5.2.6 La qualité des liens

La retransmission des données suite à l'interruption du cheminement entre la source et la destination est une opération qui engendre un coût énergétique supplémentaire.

2.5.2.7 Le mode de communication

Le routage point-à-point est inefficace pour les RCSF du fait qu'il consomme beaucoup d'énergie au niveau des nœuds capteurs. Par ailleurs, les modes de communication adéquats sont en effet le mode « one-to-many » et le mode « many-to-one ».

2.5.2.8 Le routage de paquets inutiles

Certains paquets de données deviennent inutiles si on ne respecte pas les échéances temporelles des transmissions, fixées soit par l'émetteur ou par le récepteur. Router des données dont l'échéance est expirée engendre une consommation d'énergie inutile.

2.5.2.9 Le choix d'un chemin

La non-prise en compte de l'énergie des nœuds. Lors du processus d'établissement de chemins peut provoquer l'épuisement des capacités énergétiques de certains nœuds.

2.6 Exemple de protocoles de routage

Le routage est le mécanisme par lequel les chemins sont sélectionnés dans un réseau pour acheminer les données d'un expéditeur vers un ou plusieurs destinataires. Le routage est une tâche effectuée dans de nombreux réseaux, tels que le réseau téléphonique, les réseaux de données électroniques tels qu'Internet et les réseaux de transport. Ses performances sont importantes dans les réseaux décentralisés, c'est-à-dire où l'information n'est pas diffusée par une source unique, mais échangée entre des agents indépendants. C'est ainsi, par exemple, que les e-mails sont envoyés aux bons destinataires.

2.6.1 Protocole LEASH(Low-Energy Adaptive Clustering Hierarchy)

LEASH est un protocole de routage destiné aux réseaux de capteurs. Son principal avantage est de minimiser la consommation énergétique des éléments du réseau. Ce protocole permet ainsi en structuration le réseau de manière hiérarchique de proposer un protocole qui économise l'énergie d'un capteur désirant émettre un paquet [7]

LEASH est un protocole de routage hiérarchique, employant un procédé de clustering qui divise le réseau en deux niveaux : les cluster-heads et les nœuds membres. Le protocole se déroule en rounds. Chaque round se compose de deux phases : construction et communication.



La hiérarchie de clustering d'adaptation à basse énergie (Leach) proposée par Heinzelman et al. [30] est un protocole de routage hiérarchique bien connu appliqué dans les RCSF.

LEACH divise le réseau en zones et clusters de manière distribuée, des nœuds CH (clusterHead) sont formés puis utilisés comme relais pour atteindre le puits en optimisant la consommation d'énergie selon un algorithme qui utilise la rotation aléatoire des têtes de groupe pour répartir équitablement les charge énergétique entre les nœuds du réseau. Un nœud décide quel cluster rejoindre en fonction de la force des signaux reçus. Lors de la formation de groupes comme illustré à la figure 24, tous les nœuds non-CH transmettent leurs données à la tête du groupe. Lorsque le CH reçoit les données de tous les membres du groupe, exécute des fonctions de traitement sur les données (par exemple agrège et compresse les données...), et les transmet à la station de base (BS) selon une communication unicast (à un seul saut).

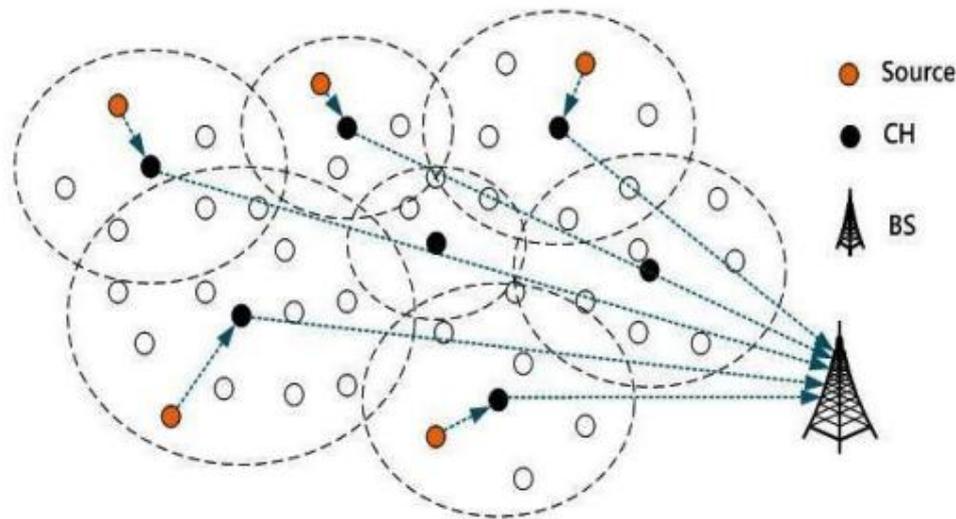


Figure 2. 24 : Architecture du routage hiérarchique LEACH.

2.6.2 Algorithme détaillé de LEACH

L'algorithme se déroule en "tours" qui ont approximativement le même intervalle de temps déterminé au préalable. Où chaque cycle commence par une phase d'initialisation suivie d'une phase de transmission.

2.6.2.1 Phase d'initialisation

Comme le montre la figure 24, la phase d'initialisation est composée de 3 sous-phases : l'annonce, l'organisation des groupes et enfin l'ordonnancement.



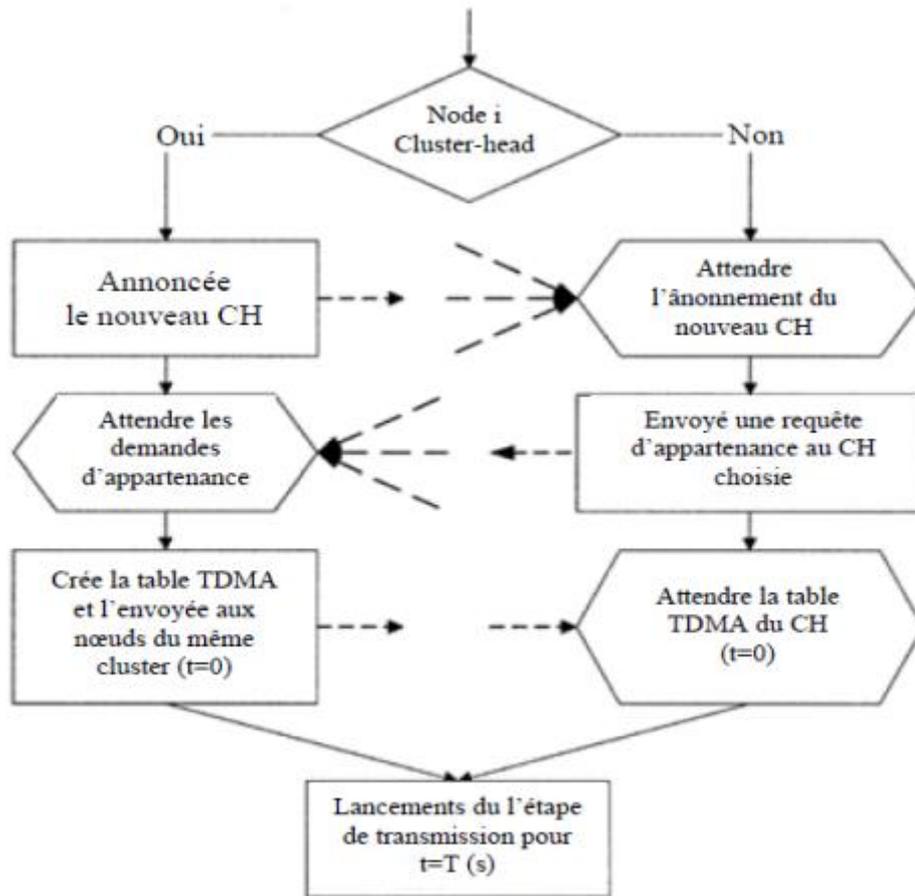


Figure 2. 25 : Opérations de l'étape d'initialisation.



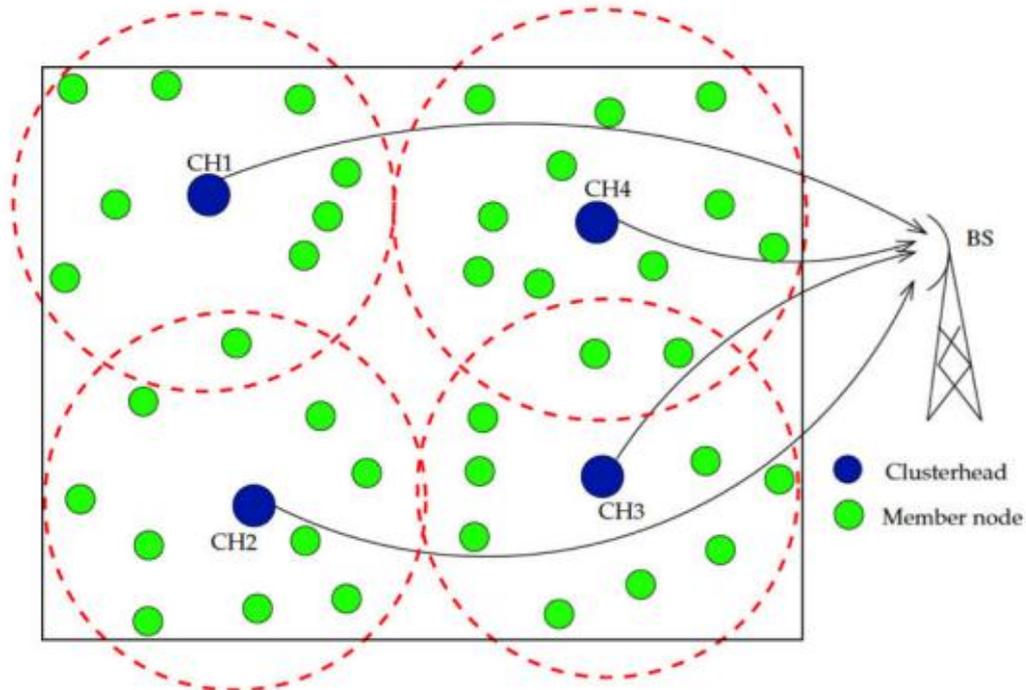


Figure 2. 26 : Protocole LEACH.

2.6.2.1.1 Phase d'annonce

Cette phase débute avec le nœud puits annonçant le nouveau tour et un nœud prenant une décision locale de devenir CH avec une probabilité donnée $P_i(t)$ au début du tour $r+1$ qui démarre à l'instant t . Je crée un nombre aléatoire entre 0 et 1 pour chaque nœud. Le nœud deviendra CH lors du tour $r + 1$ si cette valeur est inférieure à $P_i(t)$. En fonction de K , $P_i(t)$ est déterminé. [29]

$$\text{Nombre(CH)} = \sum_{i=0}^n P_i(t) = K \quad (2.1)$$

Le nombre total de nœuds dans le réseau est N . S'il y a N nœuds et K CH, nous aurons besoin de N/K tours dans lesquels chaque nœud n'est élu qu'une fois autant que CH avant que le tour ne soit remis à 0. Résultat, pour chaque nœud i la probabilité de devenir i est:

$$P_i(t) = \frac{\text{nombre de CH désirés}}{\text{le nombre de noeuds qui n'ont pas encore été élus CH durant les rounds précédents}} \quad (2.2)$$

Si le nœud i a déjà été C_i lors d'un des tours précédents ($r \bmod N/K$), $C_i(t)$ vaut 0 ; sinon, il est égal à 1. En conséquence, seuls les nœuds qui n'ont pas encore été CH ont suffisamment d'énergie restante pour être pris sur les autres phrase.



$$\sum_{i=0}^n Ci(t) \quad (2.3)$$

C représente le nombre total des nœuds éligibles d'être C_i à l'instant t . Il est égal à

$$\sum_{i=1}^n Ci(t) = N - k * (r \bmod N/k) \quad (2.4)$$

Utilisant l'équation (1) et (2), le nombre de CH par round est :

$$(CH) = \sum_{i=1}^n Pi(t) * Ci(t) = \left(K * \text{Nombre} * \left(r \bmod \frac{n}{k} \right) \right) * \left(\frac{k}{N - K * \left(r \bmod \frac{n}{k} \right)} \right) = K \quad (2.5)$$

La probabilité L'hypothèse derrière $P_i(t)$ est que tous les nœuds sont initialement homogènes, ont la même quantité d'énergie restante et meurent à peu près en même temps. Cependant, bien que cela puisse être vrai immédiatement après le déploiement, cela ne l'est plus après une période. Si l'énergie des nœuds diffère, ce sera plus pratique si la probabilité diffère:

$$Pi(t) = \frac{Ei(t)}{E_{total}(t)} k \quad (2.6)$$

Où $E_i(t)$ est l'énergie résiduelle relative à chaque nœud i . En utilisant cette probabilité, le Nœud avec une plus grande ressource énergétique a une plus grande chance de devenir CH. Ainsi, le nombre de nœuds souhaités pour être CH à chaque tour est :

$$\text{Nombre CH} = \sum_{i=1}^{\infty} Pi(t) * Ci(t) = \left(\frac{E1(t)}{E_{total}(t)} + \frac{E2(t)}{E_{total}(t)} + \dots + \frac{En(t)}{E_{total}(t)} \right) K = K \quad (2.7)$$

Si les nœuds commencent avec la même énergie, les équations (2) et (3) seront équivalentes. De plus, en utilisant l'équation (3), les nœuds doivent connaître toute l'énergie du réseau.

2.6.2.1.2 Phase d'organisation de groupes

Le nœud deviendra CH lors du tour $r + 1$ si cette valeur est inférieure à $P_i(t)$. $P_i(t)$ est calculé en fonction de K et arrondi au nombre entier le plus proche. [29] :

2.6.2.1.3 Phase d'ordonnement

Après la formation des groupes, chaque CH agit comme un centre de commandement local pour coordonner les transmissions de données dans son cluster. Il crée un modèle de



communication basé sur le TDMA, puis il le transmet aux nœuds de son cluster. Puisque Chaque nœud connaît à l'avance la période de temps qu'il occupera, ce qui lui permet d'entrer dans un état de « veille » pendant les intervalles d'inactivité. En conséquence, il n'y a pas de gaspillage d'énergie lors des phases d'écoute ou d'écoute passive (inactive). Chaque CH sélectionne un code au hasard dans une liste de codes de propagation CDMA et l'envoie aux nœuds de son cluster afin qu'ils puissent l'utiliser pour la transmission. afin de ne pas perturber les communications des CH les plus proches [32].

2.6.2.2 Phase de transmission

Les données actuelles sont transmises à la station de base dans la deuxième étape. La durée de la deuxième phase est plus longue que la première phase pour minimiser les problèmes de surcharge. La collecte des données est centralisée et effectuée régulièrement. Par conséquent, lorsque le capteur doit être surveillé en permanence, cette méthode s'est avérée la plus appropriée [32]. Le réseau passera à un nouveau tour après un intervalle de temps prédéterminé. Tout au long du tour précédent, le processus est répété jusqu'à ce que tous les nœuds du réseau soient élus pour la première fois. Dans ce cas, le tour est remis à 0..

2.6.3 Avantages et inconvénients de LEACH

2.6.3.1 Avantages

Le protocole LEACH présente les avantages suivants :

- La configuration automatique du cluster est indépendante de la station de base (algorithme distribué).
- L'utilisation des techniques TDMA/CDMA permet d'avoir une hiérarchie et de réaliser des clusterings à plusieurs niveaux. Ceux-ci économisent l'avantage énergétique Rotation aléatoire du cluster effectuée par des « stations de base » ou des « chefs de cluster » [32].
- La consommation d'énergie est partagée entre tous les nœuds, prolongeant ainsi la durée de vie du réseau.
- Compression locale (agrégation) : les nœuds CH compressent les données provenant des nœuds appartenant à leurs clusters respectifs et envoient un paquet d'agrégation à la station de base afin de réduire la quantité d'informations à transmettre à la station de base [32].
- Les données sont fusionnées pour réduire la quantité d'informations transmises à la station de base

2.6.3.2 Inconvénients

D'autre part, LEACH présente les inconvénients suivants :

- LEACH ne fournit pas de clarté sur la position des nœuds capteurs et le nombre de CH dans le réseau [33]. Le CH est toujours allumé et lorsqu'il meurt, le cluster deviendra inutile car les données collectées par les nœuds du cluster n'atteindront jamais la station de base. « L'utilisation de la communication à saut unique au lieu de la communication à sauts multiples diminue l'énergie du nœud.



- LEACH ne garantit pas une répartition homogène des CH sur le réseau, car le seul critère de choix des CH est une probabilité aléatoire. Cela n'empêche pas une concentration des CH dans une région limitée au détriment de l'ensemble du réseau
- On peut ne pas avoir de CH lors d'un tour si les nombres aléatoires générés par tous les nœuds du réseau sont supérieurs à la probabilité $P_i(t)$. « Le protocole LEACH n'est pas sécurisé, il est très vulnérable même à de simples attaques [33].
- Les CH les plus éloignés de la station de base meurent rapidement par rapport à ceux qui sont proches de la station.
- Sans justifier leur choix, les auteurs fixent le pourcentage optimal de CH pour le réseau à 5 % du nombre total de nœuds. Cependant, la topologie, la densité et le nombre de nœuds peuvent être différents dans d'autres réseaux.
- Aucune suggestion n'est faite sur le temps de réélection CH (temps d'itération). En savoir plus sur ce texte source Vous devez indiquer le texte source pour obtenir des informations supplémentaires.

Tableau 2. 2 : Consommation énergétique moyenne.

Numbers of nœuds	Global Energy consumption in the network(joules)	
	LEACH	LEACH-M
50	17.6758163	17.2511633
100	17.964303	17.7721919
150	18.1195503	17.9554698
200	18.2804523	18.1163869

Les résultats de la mise en œuvre révèlent que, quelle que soit la densité du réseau, le protocole LEACH-M fonctionne mieux en termes de consommation d'énergie globale que le protocole LEACH.

2.6.4 Le protocole HEED (Hybrid, Eenergy-Efficient, Distributed approach)

Nous définissons d'abord les paramètres qui seront utilisés dans le processus de clustering. La deuxième partie présente la conception du protocole et le pseudo-code. Enfin, nous prouvons que l'accord répond aux exigences de l'accord.



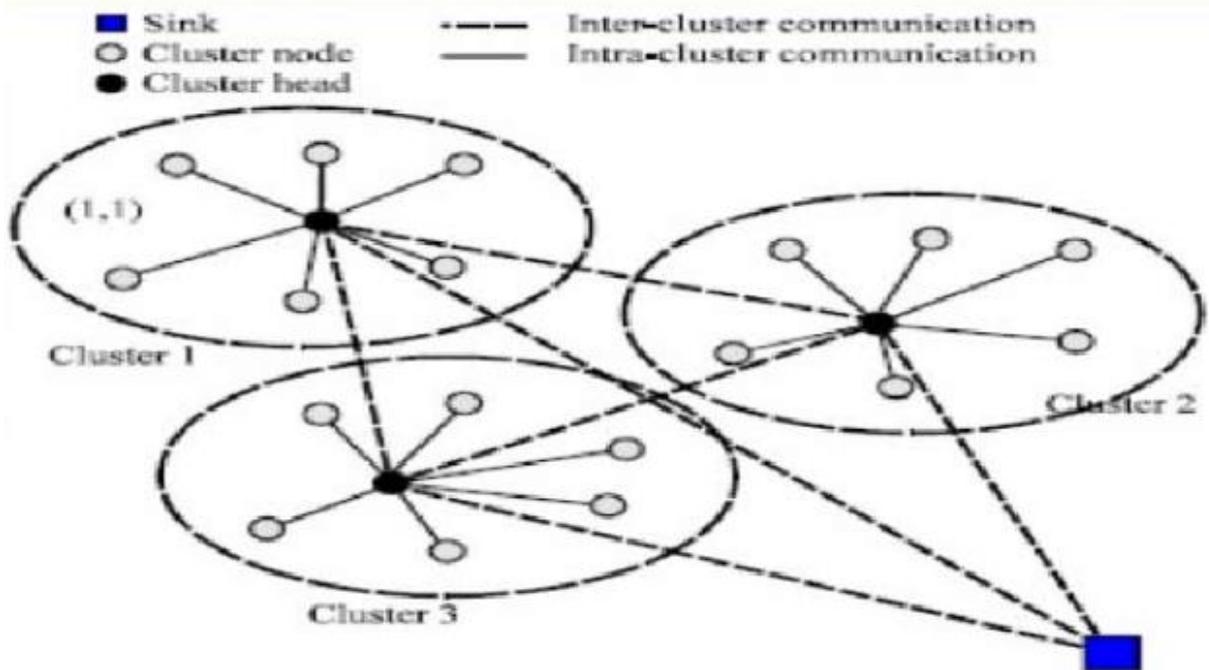


Figure 2. 27 : Architecture du routage hiérarchique HEED.

2.6.4.1 Paramètres de clustering

L'objectif principal de notre stratégie est de prolonger la durée de vie du réseau. Par conséquent, la sélection du chef de cluster est principalement basée sur l'énergie restante de chaque nœud. L'énergie restante n'a pas besoin d'être mesurée, car l'énergie requise pour chaque bit pour la détection, le traitement et la communication est bien comprise, de sorte que l'énergie restante peut être calculée. Nous utilisons également le « coût de communication » dans le cluster comme paramètre d'agrégation auxiliaire pour améliorer l'efficacité énergétique et la durée de vie du réseau. Par exemple, le coût peut être déterminé par la densité du cluster ou la proximité des voisins. Les paramètres de clustering primaires sont utilisés pour sélectionner un ensemble de chefs de cluster initiaux de manière probabiliste, tandis que les paramètres secondaires sont utilisés pour "couper la connexion entre eux". En ce sens, l'égalité signifie qu'un nœud est "séparé" par plusieurs chefs de cluster. Les nœuds d'observation ont généralement plusieurs (par exemple, 6) niveaux de puissance de transmission discrets pour comprendre ce que signifie "portée" dans ce contexte. Le niveau de puissance de transmission utilisé pour la publicité et le cluster au sein du cluster détermine la portée ou le rayon du cluster. Ce niveau est appelé le niveau de puissance du cluster. Afin d'améliorer la réutilisation de l'espace et d'économiser des niveaux de puissance plus élevés pour la communication entre clusters, le niveau de puissance du cluster doit être défini sur l'un des niveaux de puissance inférieurs du nœud. Pour s'assurer que la couverture inter-clusters produite est connectée, ces niveaux de puissance plus élevés doivent couvrir au moins deux diamètres de clusters ou plus. Si ce critère n'est pas rempli, notre méthode de regroupement et de sélection des classes de puissance ne s'applique pas.

Dans la section III-D, nous examinons les circonstances de connectivité inter-clusters. Le nombre de clusters dans notre réseau est déterminé par le niveau de puissance du cluster. La topologie du réseau change en raison des défaillances de nœuds et de l'épuisement de la



puissance, ce qui rend difficile la détermination d'un niveau de puissance de cluster approprié. Le coût de la communication intra-cluster, une caractéristique de clustering secondaire, est fonction des attributs du cluster I tels que la taille du cluster et (ij) si le réglage des niveaux de puissance pour la communication intra-cluster est autorisé ou non. Si le niveau de puissance pour la communication intra-cluster est fixe pour tous les nœuds, le coût peut être proportionnel au degré I du nœud si l'objectif est de répartir la charge entre les clusters principaux., ou $r(ij) = 1^{\text{node}/\text{degre}}$. Si vous avez besoin de faire des clusters denses, c'est la méthode à utiliser. Cela signifie qu'un nœud rejoint la tête de cluster avec le degré le plus bas pour partager la charge de la tête de cluster (potentiellement au détriment d'une interférence plus élevée et d'une réutilisation spatiale moindre), ou rejoint la tête de cluster avec le degré le plus élevé pour former des clusters denses. Les mots « coût du diplôme minimum » et « coût du diplôme le plus élevé » sont utilisés pour décrire ces dépenses. Les informations locales étant insuffisantes dans ce scénario, la communication entre clusters n'est pas incluse dans la fonction de coût. Prenons le cas où la communication intra-cluster est autorisée à différents niveaux de puissance. Laisser

$M_{inP_{wri}}$ désigne le niveau de puissance minimum requis par un nœud v_i , $1 \leq i \leq M$, communiquer avec un cluster head u , où M est le nombre de nœuds dans la plage de cluster. On définit le minimum moyen puissance d'accessibilité (AMRP) comme la moyenne des niveaux de puissance minimum requis par tous les nœuds M dans la plage de cluster à atteindre

$$u, i. e., \frac{\sum_{i=1}^M \text{MinPwr}}{M} \quad (2.8)$$

Est-il possible pour chaque nœud de choisir le niveau de puissance auquel il communique avec le cluster head alors AMRP fournit une bonne estimation du coût de communication.

L'AMRP d'un nœud Si ce nœud devient le leader du cluster, cette valeur représente la consommation électrique projetée de la communication intra-cluster. L'utilisation d'AMRP

I. Initialize

1. $S_{nbr} \leftarrow \{v: v \text{ lies within my cluster range}\}$
2. Compute and broadcast cost to $\in S_{nbr}$
3. $CH_{prob} \leftarrow \max(C_{prob} \times \frac{E_{residual}}{E_{max}}, p_{min})$
4. $is_final_CH \leftarrow FALSE$

III. Finalize

1. If ($is_final_CH = FALSE$)
2. If ($(S_{CH} \leftarrow \{v: v \text{ is a final cluster head}\}) \neq \phi$)
3. $my_cluster_head \leftarrow \text{least_cost}(S_{CH})$
4. $join_cluster(cluster_head_JD, NodeID)$
5. Else $Cluster_head_msg(NodeID, final_CH, cost)$
6. Else $Cluster_head_msg(NodeID, final_CH, cost)$

II. Repeat

1. If ($(S_{CH} \leftarrow \{v: v \text{ is a cluster head}\}) \neq \phi$)
2. $my_cluster_head \leftarrow \text{least_cost}(S_{CH})$
3. If ($my_cluster_head = NodeID$)
4. If ($CH_{prob} = 1$)
5. $Cluster_head_msg(NodeID, final_CH, cost)$
6. $is_final_CH \leftarrow TRUE$
7. Else
8. $Cluster_head_msg(NodeID, tentative_CH, cost)$
9. ElseIf ($CH_{prob} = 1$)
10. $Cluster_head_msg(NodeID, final_CH, cost)$
11. $is_final_CH \leftarrow TRUE$
12. ElseIf $Random(0,1) \leq CH_{prob}$
13. $Cluster_head_msg(NodeID, tentative_CH, cost)$
14. $CH_{previous} \leftarrow CH_{prob}$
15. $CH_{prob} \leftarrow \min(CH_{prob} \times 2, 1)$

Until $CH_{previous} = 1$

comme coût de sélection des têtes de cluster est plus que raisonnable.

Figure 2. 28 : HEED protocol pseudo-code.

2.6.5 HEED (Hybrid, Eenergy-Efficient, Distributed approach)

Younes et Fahmy [156] ont proposé un algorithme de clustering distribué appelé HEED pour les réseaux de capteurs. Contrairement aux techniques précédentes, HEED n'impose aucune contrainte sur la distribution et la densité des nœuds. Il... non ne dépend pas de la topologie du réseau ni de sa taille, mais il suppose que les capteurs ont la possibilité de modifier leur puissance d'émission. HEED sélectionne le cluster-heads selon un critère mixte combinant l'énergie restante des nœuds et un deuxième paramètre tel que le degré des nœuds. Il vise à obtenir une distribution têtes de cluster uniformes dans le réseau et de générer des clusters équilibrés dans Couper.

Où E_n est l'énergie restante du nœud, ET_{total} est l'énergie globale du réseau et C_{prob} est le nombre idéal de clusters. Cependant, comme il n'y a pas de contrôle central, l'évaluation de l' ET_{total} présente certains défis. Un autre problème est de choisir le meilleur nombre de clusters à utiliser. De plus, HEED Le protocole de communication entre les cluster-heads et le récepteur n'est pas spécifié. Le problème n'émerge pas au sein du cluster car les membres et le chef de cluster communiquent directement (un saut). Alternativement, avec HEED, Dans les communications intra-cluster, l'architecture en cluster ne préserve pas l'alimentation et les clusters résultants ne sont pas de taille égale. En savoir plus sur le texte source. Pour plus de détails, vous devez mentionner le texte original. Panneaux latéraux : envoyer des commentaires.

2.6.6 Protocole TEEN (Threshold sensitive Energy Efficient sensor Network protocol)

TEEN est un protocole hiérarchique conçu pour être sensible aux changements soudains des attributs détectés tels que la température. L'architecture du réseau est basée sur un regroupement hiérarchique où les nœuds les plus proches forment des clusters. Après avoir construit les clusters, le cluster-head diffuse deux seuils aux nœuds. Quelles sont la valeur minimale d'un attribut à transmettre et le degré minimal de changement de cet attribut.

Adaptive TEEN (APTEEN) est une extension de TEEN basée sur la capture de données périodiques et la réaction aux événements en temps réel. Lorsque la station de base forme les clusters, les cluster-heads diffusent les attributs, les seuils et le plan de transmission à tous les nœuds et effectuent également l'agrégation des données afin d'économiser de l'énergie [7].



Utilisant le TDMA, le protocole LEACH est destiné aux applications temporelles. Dans ce type d'application, les données sont propagées périodiquement. Cependant, ce type de protocole n'est pas adapté aux applications événementielles, où un comportement réactif est nécessaire au bon fonctionnement du système. TEEN (Threshold sensitive Energy Efficient sensor Network protocol) a été développé pour modéliser LEACH afin de répondre aux exigences des applications événementielles.

La majorité du comportement de TEEN est similaire au protocole LEACH. Cependant, quelques différences existent. Les élus ne transmettent pas d'horaire TDMA, mais envoient un message contenant les informations suivantes :

- ❖ **Attributs** : représentent la tâche demandée au capteur.
- ❖ **Seuil strict (HT)** : détermine la valeur critique après laquelle les membres doivent envoyer leurs rapports de données.
- ❖ **Seuil souple (ST)** : spécifie le changement minimum forçant le nœud à envoyer un nouveau rapport.

Par conséquent, lorsqu'un nœud constate que la valeur capturée a dépassé HT, il doit émettre un rapport au leader. Il ne réémet un nouveau rapport que si la valeur change drastiquement, c'est-à-dire : la différence dépasse ST. Ce mécanisme permet de mettre en œuvre un comportement réactif, tout en limitant le nombre de messages utilisés.

En raison de la nature réactive de TEEN, l'utilisation de TDMA est inadaptée. Plusieurs alternatives peuvent être envisagées : CDMA ou CSMA.

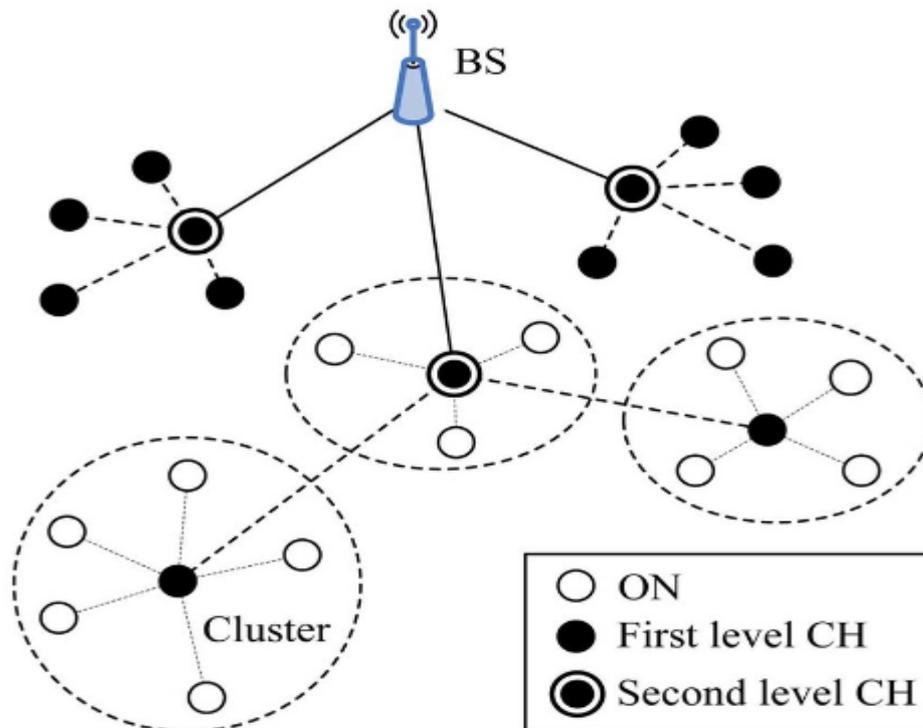


Figure 2. 29 : Architecture du routage hiérarchique TEEN.



2.6.6.1 Fonctionnement

à chaque instant de changement de cluster, en plus des attributs, le cluster-head diffuse à ses membres,

- ❖ **Seuil dur (H_T)** : il s'agit d'une valeur seuil pour l'attribut détecté. C'est la valeur absolue de l'attribut au-delà duquel, le nœud qui détecte cette valeur doit allumer son émetteur et le signaler à son chef de cluster.
- ❖ **Seuil doux (S_T)** : il s'agit d'un petit changement dans la valeur de l'attribut détecté qui déclenche l'allumage du nœud par le nœud. et transmettre.

Les nœuds détectent leur environnement en continu. La première fois qu'un paramètre de l'ensemble d'attributs atteint sa valeur de seuil, le nœud allume son émetteur et envoie les données détectées. La valeur détectée est stockée dans une variable interne du nœud, appelée

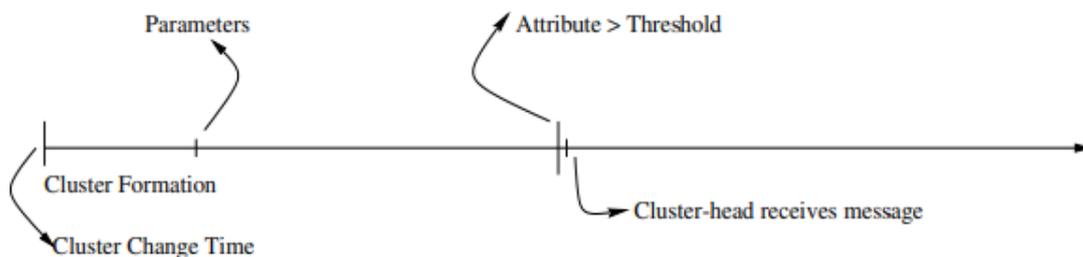


Figure 2. 30 : Chronologie pour TEEN.

Valeur détectée (SV). Les nœuds transmettront ensuite les données dans la période de cluster actuelle, uniquement lorsque les deux conditions suivantes sont vraies : 1. La valeur actuelle de l'attribut détecté est supérieure au seuil strict. 2. La valeur actuelle de l'attribut détecté diffère de SV d'une quantité égale ou supérieure au seuil logiciel. Chaque fois qu'un nœud transmet des données, SV est défini égal à la valeur actuelle de l'attribut détecté. Ainsi, le seuil strict essaie de réduire le nombre de transmissions en permettant aux nœuds de transmettre uniquement lorsque l'attribut détecté est dans la plage d'intérêt. Le seuil souple réduit encore le nombre de transmissions en éliminant toutes les transmissions qui auraient pu autrement se produire lorsqu'il y a peu ou pas de changement dans l'attribut détecté une fois le seuil dur.

2.6.6.2 Des caractéristiques importantes

Les principales caractéristiques de ce schéma sont les suivantes :

- ✓ Les données critiques dans le temps parviennent à l'utilisateur presque instantanément. Ainsi, ce schéma est éminemment adapté aux applications de détection de données à temps critique.
- ✓ La transmission de messages consomme beaucoup plus d'énergie que la détection de données. Ainsi, même si les nœuds sentent en continu, la consommation d'énergie dans ce schéma peut potentiellement être beaucoup moins que dans le proactif réseau, car la transmission des données se fait moins fréquemment.



- ✓ Le seuil souple peut être modifié, en fonction de la criticité de l'attribut détecté et de l'application cible.
- ✓ Une valeur plus petite du seuil souple donne une image plus précise du réseau, au détriment d'une consommation d'énergie accrue. Ainsi, l'utilisateur peut contrôler le compromis entre efficacité énergétique et précision.
- ✓ À chaque changement de cluster, les attributs sont diffusés à nouveau et ainsi, l'utilisateur peut les modifier selon ses besoins.

Le principal inconvénient de ce schéma est que, si les seuils ne sont pas atteints, les nœuds ne communiqueront jamais, l'utilisateur n'obtiendra aucune donnée du réseau et ne saura pas même si tous les nœuds meurent. Ainsi, ce schéma n'est pas bien adapté aux applications où le l'utilisateur doit obtenir des données sur une base régulière. Une autre possibilité problème avec ce schéma est qu'une mise en œuvre pratique devrait s'assurer qu'il n'y a pas de collisions dans le cluster. La planification TDMA des nœuds peut être utilisée pour éviter ce problème. Cela introduira cependant un retard dans la communication des données urgentes. CDMA est une autre possibilité.

$$P_{ch} = \frac{E_n}{E_{Total}} \quad (2.9)$$

2.6.6.3 Des caractéristiques importantes

Les principales caractéristiques de ce schéma sont les suivantes :

- ❖ Le seuil souple peut être modifié, en fonction de la criticité de l'attribut détecté et de l'application cible.
- ❖ Les données critiques dans le temps parviennent à l'utilisateur presque instantanément. Ainsi, ce schéma est éminemment adapté aux applications de détection de données à temps critique.
- ❖ À chaque changement de cluster, les attributs sont diffusés à nouveau et ainsi, l'utilisateur peut les modifier selon ses besoins.
- ❖ La transmission de messages consomme beaucoup plus d'énergie que la détection de données. Ainsi, même si les nœuds sentent en continu, la consommation d'énergie dans ce schéma peut potentiellement être beaucoup moins que dans le proactif réseau, car la transmission des données se fait moins fréquemment.
- ❖ Le seuil souple peut être modifié, en fonction de la criticité de l'attribut détecté et de l'application cible.
- ❖ Une valeur plus petite du seuil souple donne une image plus précise du réseau, au détriment d'une consommation d'énergie accrue. Ainsi, l'utilisateur peut contrôler le compromis entre efficacité énergétique et précision.

2.6.7 Protocole de réseau hybride APTEEN

Dans cette section, nous présentons un nouveau protocole développé pour les réseaux hybrides, appelé APTEEN (Adaptive PeriodicThreshold-sensitive Energy Efficient Sensor Network Pro-ocol). Dans APTEEN, une fois les CH décidés, à chaque période de cluster, le chef de cluster diffuse d'abord les paramètres suivants :

- ✚ **Attributs (A)** : Il s'agit d'un ensemble de paramètres physiques sur lesquels l'utilisateur souhaite obtenir des données.
- ✚ **Seuils** : ce paramètre se compose d'un seuil strict (HT) et d'un seuil souple (ST). Il s'agit d'une valeur particulière d'un attribut au-delà de laquelle un nœud peut être



déclenché pour transmettre des données. ST est un petit changement dans la valeur d'un attribut qui peut amener un nœud à retransmettre des données.

- ✚ **Horaire** : Il s'agit d'un horaire TDMA similaire à celui utilisé dans [8], attribuant un créneau à chaque nœud.
- ✚ **Count Time (TC)** : c'est la période de temps maximale entre deux rapports successifs envoyés par un nœud. Il peut s'agir d'un multiple de la longueur du programme TDMA et cela représente la composante proactive.

Dans un réseau de capteurs, les nœuds voisins appartiennent au même cluster, détectent des données similaires et essaient d'envoyer leurs données en même temps, ce qui peut entraîner des conflits. Nous avons introduit une planification TDMA afin que chaque nœud du cluster se voit attribuer un intervalle de temps de transmission. Dans la section suivante, nous appelons les valeurs de données qui dépassent le seuil comme données critiques.

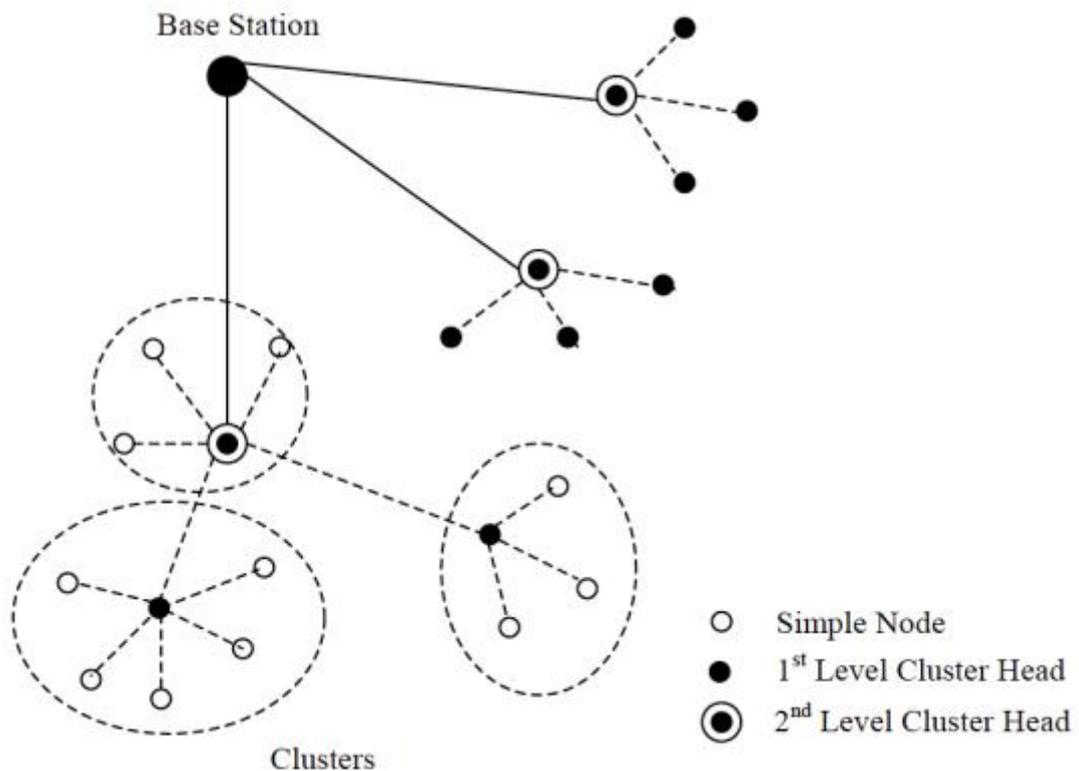


Figure 2. 31 : Clustering hiérarchique dans TEEN et APTEEN.



2.6.7.1 Des caractéristiques importantes

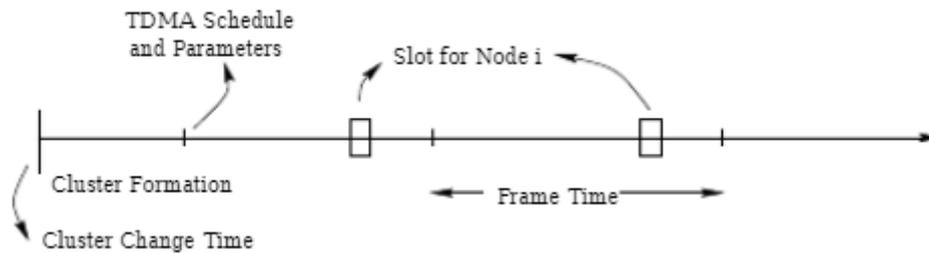


Figure 2.32 : Chronologie pour APTEEN.

Les principales caractéristiques de notre schéma sont :

1. En envoyant des données périodiques, il donne à l'utilisateur une image complète du réseau. Il répond également immédiatement à des changements drastiques, le rendant ainsi réactif aux situations critiques. Ainsi, il combine à la fois des politiques proactives et réactives.
2. Il offre une flexibilité, permettant aux utilisateurs de définir l'intervalle de temps (TC) et le seuil de l'attribut. La consommation d'énergie peut être contrôlée en comptant le temps et le seuil. 4. Le réseau hybride peut simuler un réseau actif ou un réseau réactif en définissant de manière appropriée le temps et le seuil de comptage. Le principal inconvénient de ce schéma est la complexité supplémentaire requise pour implémenter la fonction de seuil et le temps de comptage. Cependant, il s'agit d'un compromis raisonnable et offre une flexibilité et une polyvalence supplémentaires.

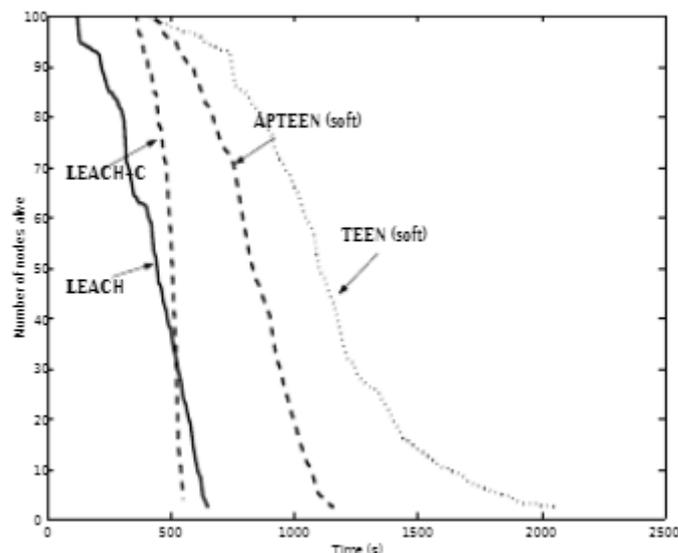


Figure 2.33 : Comparaison du no. de nœuds vivants pour LEACH, APTEEN et TEEN.



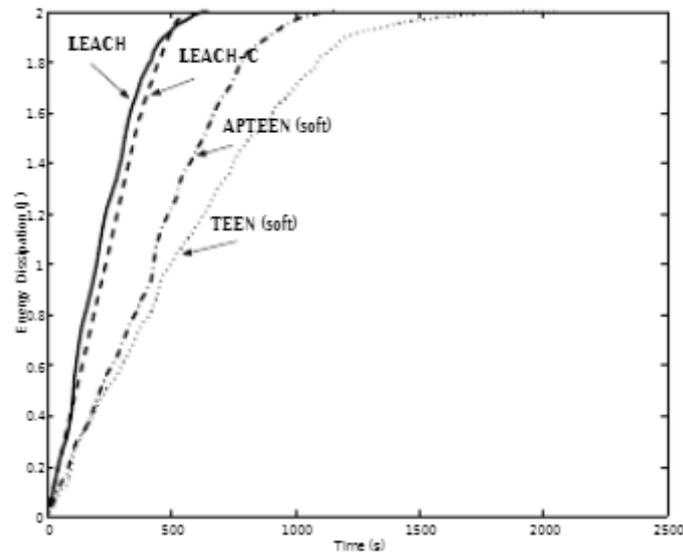


Figure 2. 34 : Comparaison de la dissipation énergétique moyenne pour LEACH, LEACH-C APTEEN et TEEN.

2.6.8 Performance Evaluation

2.6.8.1 Simulation Environnement

Nous avons basé l'implémentation des requêtes sur le simulateur thens-2 [13] avec l'extension LEACH. La simulation a été réalisée sur un réseau de 100 nœuds et une station de base fixe. Les nœuds sont placés aléatoirement dans le réseau. Tous les nœuds commencent avec une énergie initiale de 2J. La formation du cluster se fait comme dans le protocole leach-c [8] [9]. Cependant, leur modèle radio est modifié pour inclure la dissipation de puissance au repos (fixée à 10% de la puissance radio). électronique et la dissipation de puissance de détection (réglée égale à 10 % de l'énergie au ralenti). Pour nos expériences, nous avons simulé un environnement avec des températures variables dans différentes régions. Les nœuds du réseau de capteurs sont d'abord placés de manière aléatoire dans une zone délimitée de 100x100 unités. La surface réelle couverte par le réseau est alors divisée en quatre quadrants. Chaque quadrant est ensuite attribué une température aléatoire entre 0°F et 200°F toutes les 5 secondes pendant les simulations. Il est observé que la plupart des clusters ont été bien répartis sur les quatre quadrants.

2.6.9 Le protocole SPIN (Sensor Protocol for Information via Negotiation)

Cette série de protocoles adaptatifs [15] a été proposée pour surmonter le problème d'ignorance des ressources soulevé par la technologie d'inondation en utilisant la négociation et en s'adaptant aux ressources disponibles.

La conception du protocole SPIN est basée sur deux idées de base :



- a. Si les nœuds capteurs se limitent à envoyer des données décrivant les informations capturées dans leurs rapports au lieu d'envoyer ces dernières (comme des images) dans leur intégralité, ils peuvent fonctionner avec une efficacité plus élevée, économisant ainsi beaucoup d'énergie.
- b. Le nœud capteur doit surveiller en permanence l'évolution de ses ressources énergétiques.
- c. Le protocole SPIN utilise 3 types de messages :

ADV : Lorsqu'un nœud a des données à envoyer, il utilisera ce message pour avertir ses voisins. REQ : si le nœud souhaite recevoir des données, envoyez ce message.

DATA : ce message contient des données avec un en-tête contenant des métadonnées.

Avant d'envoyer le message DATA, le nœud capteur diffuse un message ADV, qui contient le descripteur, c'est-à-dire les métadonnées de l'élément DATA à envoyer, comme illustré à l'étape 1 de la figure 34. Il est à noter qu'il n'y a pas de format standard pour les métadonnées utilisées, en supposant que ces dernières sont spécifiques à chaque application.

Si le nœud voisin est intéressé par des données, il enverra un message de type REQ de DATA, puis enverra ce dernier à ce nœud, comme illustré aux étapes 2 et 3 de la figure 4. Le nœud capteur voisin répète ce processus. Les étapes 4, 5 et 6 sont les mêmes que celles illustrées sur la figure. De cette façon, seuls les nœuds capteurs qui sont intéressés par les données du message transmis en auront une copie.

La famille de protocoles SPIN comprend :

1. **SPIN-PP** : ce protocole est conçu pour la communication point à point, en supposant que deux nœuds peuvent communiquer entre eux sans interférence d'autres nœuds. Le protocole suppose également que la consommation d'énergie n'est pas considérée comme une contrainte et que les paquets de données ne seront jamais perdus.
2. **SPIN-EC** : Ce protocole ajoute des heuristiques de consommation d'énergie sur la base du protocole précédent. Si un nœud peut effectuer toutes les étapes du protocole sans atteindre un niveau d'énergie faible, il participera au processus de routage.
3. **SPIN-BC** : Ce protocole est défini pour le canal de diffusion, et son avantage est que n'importe quel nœud à portée de l'émetteur peut recevoir la diffusion. Mais l'inconvénient est que si le canal de diffusion est utilisé, le nœud doit annuler sa transmission. Une autre différence par rapport à l'accord La description ci-dessus est que le nœud n'envoie pas le message REQ immédiatement après avoir reçu le message ADV, mais initialise une horloge aléatoire et envoie le message REQ après son expiration. Les autres nœuds ignorent donc les éventuels messages REQ reçus avant l'expiration de l'horloge d'initialisation, ce qui évitera une réception redondante des messages de requête.
4. **SPIN-RL** : Ce protocole introduit deux modifications principales : d'une part, chaque nœud suivra le message ADV reçu, et si le nœud demandeur ne répond pas dans un délai spécifié, il renverra sa demande de données. Deuxièmement, les nœuds ont une limite sur la fréquence de transmission des données. Chaque nœud attend pendant une



période de temps prédéterminée pour répondre à une demande pour les mêmes données.

En savoir plus sur ce texte source Vous devez spécifier le texte source pour obtenir plus d'informations envoyer des commentaires Panneau latéral

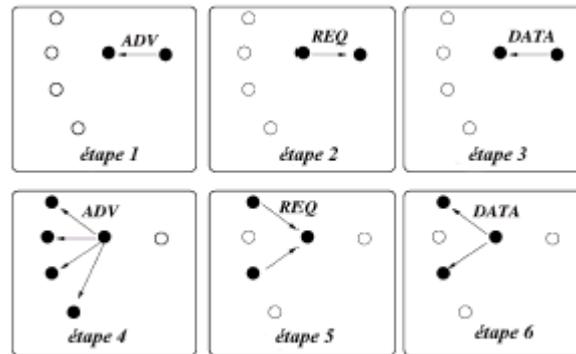


Figure 2. 35 : Le protocole SPIN.

L'un des principaux avantages du protocole SPIN est son traitement localisé de l'information, dans lequel chaque nœud n'a besoin de connaître que ses voisins directs, ce qui permet de conserver les mêmes performances lors de changements fréquents de la topologie du système.

Par rapport à la technologie flood, SPIN réduit l'énergie dissipée de 3,5 fois, et le mécanisme de négociation lui permet de diviser par deux le débit de données redondantes transmises.

Cependant, le mécanisme de notification (via les messages ADV) ne peut garantir un acheminement fiable des données vers la destination. Cela se produit notamment lorsque le nœud intéressé par les données est relativement éloigné du capteur source et que le nœud entre la source et la destination n'est pas intéressé par les données. Par conséquent, pour les applications qui nécessitent un routage efficace pour capturer des données, telles que les applications, SPIN peut ne pas être un choix militaire approprié.

2.6.10 PEGASIS et PEGASIS hiérarchique

Le protocole "Power-Efficient GATHERing in Sensor Information Systems" (PEGASIS) [11] a été amélioré. En effet, plutôt que de former plusieurs groupes, ce protocole crée une chaîne de capteurs dans laquelle chaque nœud ne peut se connecter qu'avec son plus proche voisin. De même, un seul nœud dans la chaîne créée peut communiquer avec le puits, et seulement pendant une période de temps c .

Le protocole PEGASIS a deux objectifs principaux : le premier est de prolonger la durée de vie du réseau en utilisant des tactiques collaboratives. Le second est de réduire la consommation de bande passante en favorisant les communications locales entre des nœuds proches les uns des autres.



Dans un premier temps, le nœud capteur doit donc trouver son plus proche voisin en envoyant un signal et en l'atténuant progressivement, jusqu'à ce qu'il soit reçu par un seul nœud. La chaîne formée sera alors constituée de nœuds les plus proches les uns des autres et qui forment un chemin vers la station de base (puits). Par conséquent, les données agrégées peuvent être transmises à la station de base via l'un des nœuds appartenant à la chaîne, et sélectionnées au début de chaque tour.

Discussion

Nous notons que contrairement à LEACH, PEGASIS évite le clustering dynamique en utilisant le routage multi-sauts via la formation de chaîne, en plus de choisir un seul nœud responsable de la communication avec la station de base au lieu d'utiliser plusieurs nœuds. Des simulations ont montré que PEGASIS surpasse LEACH de 100 à 300 % pour différents types de topologies. Ce gain de performances considérable est obtenu en éliminant le trafic associé à la formation de groupes dynamiques, et en réduisant le nombre d'émissions et de réceptions par agrégation de données. Cependant, PEGASIS a introduit des délais de transmission excessifs pour les nœuds éloignés de la station de base dans la chaîne, en plus du risque de congestion au niveau du nœud communiquant avec la station de base.

Une extension de PEGASIS, appelée « PEGASIS hiérarchique » a été introduite dans [12] dans le but de réduire les délais encourus par les paquets lors de leur transmission vers la station de base. Le protocole propose une solution au problème de collecte de données en prenant en compte la métrique délai énergie.

Dans le but de réduire les délais observés dans PEGASIS, des transmissions simultanées de messages de données sont réalisées en évitant les collisions et les interférences éventuelles entre les capteurs. Pour cela, deux approches ont été examinées : la première adopte un codage de signal tel que le CDMA [16], tandis que la seconde permet, uniquement à des nœuds géographiquement séparés, de transmettre en même temps.

Le protocole en chaîne, avec des nœuds qui fonctionnent en CDMA, permet la construction de chaînes de nœuds formant une hiérarchie arborescente où un seul nœud est sélectionné pour s'interfacer entre son niveau et le niveau supérieur. Cette méthode assure une transmission parallèle des données et réduit considérablement les délais. Comme l'arbre construit est équilibré, les délais de transmission seront de l'ordre de $O(\lg N)$, où N est le nombre de nœuds au niveau supérieur de la hiérarchie.

La version sans CDMA de l'approche basée sur la chaîne crée une hiérarchie à trois niveaux, où les effets d'interférence sont réduits par un séquençage précis des transmissions simultanées. Il a été montré que ce type de protocole surpasse le protocole ordinaire PEGASIS d'un facteur de 60 % [14].

Bien que PEGASIS et ses variantes évitent le regroupement dynamique, les approches adoptées nécessitent toujours un ajustement dynamique de la topologie du réseau, puisque l'énergie résiduelle des nœuds capteurs n'est pas prise en compte lors du routage. De telles opérations d'ajustement de topologie peuvent introduire des "surcharges" importantes, notamment pour les réseaux fortement sollicités.

En savoir plus sur ce texte source Vous devez indiquer le texte source pour obtenir des informations supplémentaires.



2.7 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons procédé à l'étude des réseaux de capteurs sans fil. Nous avons posé les briques de base et fédéré quelques concepts nécessaires à la compréhension de nos problématiques dans la suite de ce manuscrit.

Cela fait des années que les réseaux de capteurs suscitent un engouement important dans la recherche. Nous avons remarqué à travers nos lectures que « minimiser la consommation d'énergie d'un nœud-capteur » est « le cheval de bataille » de toutes les solutions et protocoles proposés. En effet, lorsque ce n'est pas l'objectif principal, alors c'est sûrement un critère de performance capital.

Nous avons évoqué les formes de dissipation et les sources de surconsommation d'énergie par un nœud-capteur.

Dans la prochaine partie nous conjuguerons cela avec la notion de la durée de vie du réseau et nous dresserons un panorama des techniques de conservation d'énergie proposées dans la littérature afin de prolonger la durée de vie des réseaux de capteurs.



Chapitre 3

La Méthode de Colonie d'Abeille

Sommaire

3	Chapitre :3	71
3.1	Introduction	72
3.1.1	Historique	72
3.1.2	Comportement des abeilles.....	73
3.1.3	Algorithme d'optimisation par colonie d'abeille.....	74
3.1.4	Domaines d'application.....	77
3.2	Conclusion.....	77



3 Introduction

Dans la nature, plusieurs espèces se caractérisent par un comportement social. Les bancs de poissons, les troupes d'oiseaux et les troupes d'animaux terrestres sont le résultat du besoin biologique qui les pousse à vivre en groupe.

Ce comportement est aussi l'une des principales caractéristiques des insectes sociaux (abeilles, termites, fourmis, etc.). A partir de ces principes, les chercheurs se sont inspirés pour développer des méthodes basées sur les comportements de ces animaux, et ont donné naissance à ce que l'on appelle la métaheuristique.

Ce mot renvoie à toutes les méthodes qui modélisent l'interaction d'agents (animaux) capables de s'auto-organiser. Ils représentent des méthodes de résolution de problèmes combinatoires qui consistent à répéter certains processus jusqu'à ce que la solution optimale soit obtenue.

L'un des insectes les plus organisés et les plus rigoureux dans leur travail est l'abeille. Les abeilles ont une très grande capacité de communication. Et grâce à son intelligence, une méthode appelée méthode de l'abeille a été développée. Dans cette méthode, les abeilles artificielles représentent des agents qui, en collaborant entre eux, résolvent des problèmes complexes d'optimisation combinatoire.

De ces informations nous déduisons l'idée de base de cette méthode : créer un système multi-agents capable de résoudre avec succès des problèmes complexes.

Dans ce chapitre, nous présenterons un bref historique de cette méthode, une description du comportement des abeilles, puis nous lancerons l'algorithme d'optimisation par colonie d'abeilles, et nous terminerons par une conclusion.

3.1.1 Historique

Au cours de la dernière décennie, les algorithmes apicoles inspirés de la nature sont devenus un outil prometteur et puissant. Malheureusement, la date exacte de la première apparition des algorithmes des abeilles n'est pas connue. Ce qui est sûr pour nous, c'est qu'elles ont été développées en quelques années de manière indépendante par différents groupes de chercheurs.

D'après la bibliographie, il apparaît que l'algorithme HONEY-BEE a été réalisé pour la première fois vers 2004 par CRAIG A.TOVEY à GEORGIA TECH en collaboration avec SUNIL NAKRANI.

Fin 2004 et début 2005, XIN-SHE YANG à l'Université de CAMBRIDGE a développé le VIRTUAL BEE ALGORITHM (VBA) pour résoudre des problèmes d'optimisation numérique, cet algorithme permet d'optimiser à la fois des fonctions et des problèmes discrets, cependant ils n'ont donné fonctions à deux paramètres à titre d'exemples. Un peu plus tard en



2005, HADDAD, AFSHAR et leurs collègues ont présenté un algorithme appelé HONEY-BEE MATING OPTIMIZATION (HBMO) qui a ensuite été appliqué à la modélisation et au clustering des réservoirs.

En 2006, B.BASTURK et D.JARABOGO en Turquie, ont développé un algorithme appelé ARTIFICIAL BEE COLONY (ABC) pour l'optimisation des fonctions numériques.

On note ici que la méthode de l'abeille est plus ou moins récente, et qu'au fil du temps de nouvelles versions apparaissent, ce qui rend cette méthode de plus en plus populaire et maîtrisable par les chercheurs.

3.1.2 Comportement des abeilles

Comme les fourmis, les abeilles sont des insectes sociaux. Ils sont contraints de vivre dans une colonie très organisée, composée d'ouvrières, de faux-bourdon et d'une seule reine, et où chacun a un travail bien précis à accomplir.

Les abeilles se nourrissent principalement de pollen et de miel. Ils vont butiner sur les fleurs pour prendre le nectar.

Durant sa courte vie (environ 45 jours), l'ouvrière effectue plusieurs travaux : elle nettoie les alvéoles, nourrit les larves, elle stocke le pollen et le nectar dans les alvéoles, elle ventile la ruche en agitant rapidement ses ailes, elle construit des peignes avec la cire qu'elle produit, elle garde le trou d'envol pour chasser les intrus, elle devient butineuse, porteuse d'eau et récolte pollen et nectar jusqu'à la fin de sa vie.

L'abeille est capable, en dansant ou en produisant des produits chimiques appelés « phéromones », de dire aux autres abeilles où elle a trouvé de la nourriture. Elle danse en rond (Figure 1) lorsqu'elle trouve du pollen à courte distance (moins de 25 mètres). Elle utilise une danse très compliquée appelée la danse frétillante (figure 2), ou la danse du huit, si la nourriture se trouve à moins de 10 kilomètres. La direction de la nourriture est exprimée par rapport à la position du soleil. La distance s'exprime par le nombre et la vitesse des tours effectués par l'abeille sur elle-même. Pour survivre à l'hiver, les abeilles doivent récolter et stocker environ 15 à 50 kg de nectar.

Les drones ne sont utilisés que pour la reproduction. Ils sont incapables de se nourrir (les ouvrières les nourrissent) et ils n'ont pas d'aiguillon pour protéger la ruche.

Il n'y a qu'une reine dans la colonie. Quelques jours après sa naissance, elle s'envole pour la seule fois de sa vie pour être fécondée par quelques drones. Elle passera le reste de sa vie (4-5 ans) à pondre jusqu'à 2000 œufs par jour.

Les abeilles adultes (âgées de 20 à 40 jours) deviennent généralement butineuses. Les abeilles butineuses jouent généralement l'un des trois rôles suivants : butineuses actives, butineuses éclaireuses et butineuses inactives.



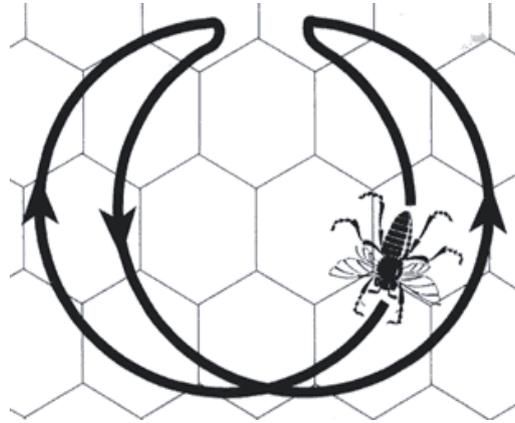


Figure 3. 36 : la danse frétillante, appelée aussi en huit.

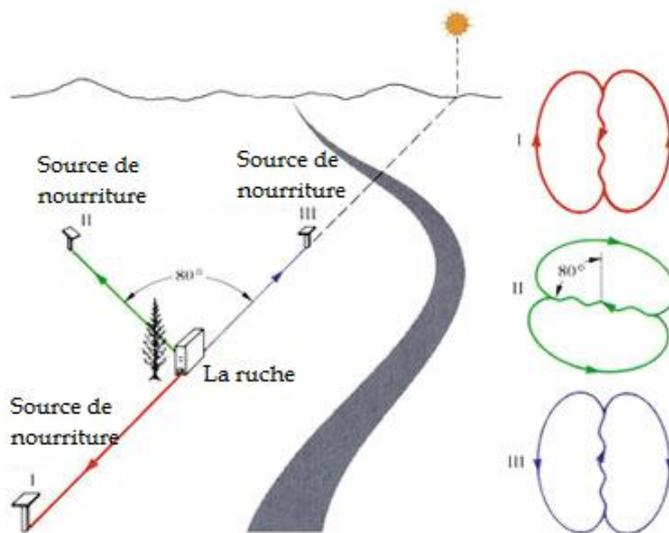


Figure 3. 37 : La danse en rond qu'effectue l'abeille en fonction de la direction de la source de nourriture.

3.1.3 Algorithme d'optimisation par colonie d'abeille

Dans cet algorithme, l'emplacement de la source de nourriture représente la solution possible au problème, et la quantité de nectar de cette source correspond à une valeur objective connue sous le nom de fitness.

Les butineuses sont affectées à différentes sources de nourriture afin de maximiser l'approvisionnement total en nectar. La colonie doit optimiser l'efficacité globale de la



collecte. La répartition des abeilles est donc fonction de nombreux facteurs tels que la quantité de nectar et la distance entre la source de nourriture et la ruche. Ce problème est similaire à la distribution des serveurs d'hébergement Web, qui était en fait l'un des premiers problèmes résolus à l'aide d'algorithmes d'abeille par NAKRANI et TOVEY en 2004.

Le nombre de butineuses actives ou inactives représente le nombre de solutions dans cette population.

Dans la première étape, l'algorithme génère une population initiale de solutions SN distribuées aléatoirement. Chaque solution x_i ($i = 1, 2, \dots, SN$) qui est initialisée par les Girl Scouts, et représente un vecteur de solution au problème d'optimisation. Les variables que contient chaque vecteur doivent être optimisées.

Après initialisation, la population de solutions est soumise à des cycles répétés

$C = 1, 2, \dots, C_{max}$, ces cycles représentent des processus de recherche effectués par des butineuses actives, inactives et des éclaireuses.

Les butineuses actives recherchent à proximité de la source précédente $x_{-}(i)$ de nouvelles sources $v_{-}(i)$ ayant plus de nectar. Ils calculent ensuite leur forme physique. Afin de produire une nouvelle source de nourriture à partir de l'ancienne, on utilise l'expression suivante :

$$v_{ij} = x_{ij} + \phi_{ij}(x_{ij} - x_{kj})$$

Où $k \in \{1, 2, \dots, BN\}$ (BN est le nombre de butineuses actives) et $j \in \{1, 2, \dots, SN\}$ sont des indices choisis au hasard. Bien que k soit déterminé aléatoirement, il doit être différent de i .

ϕ_{ij} est un nombre aléatoire appartenant à l'intervalle $[-1, 1]$, il contrôle la production d'une source de nourriture au voisinage de x_{ij} .

Après la découverte de chaque nouvelle source de nourriture v_{ij} , un mécanisme de sélection gourmande est adopté, c'est-à-dire que cette source est évaluée par des abeilles artificielles, ses performances sont comparées à celles de x_{ij} . Si le nectar de cette source est égal ou meilleur que celui de la source précédente, celui-ci est remplacé par le nouveau. Sinon, l'ancien est conservé.

Pour un problème de minimisation, la fitness est calculée selon cette formule :

$$fit_i(\vec{x}_i) = \begin{cases} \frac{1}{1+f_i(\vec{x}_i)} & \text{si } f_i(\vec{x}_i) \geq 0 \\ 1 + abs(f_i(\vec{x}_i)) & \text{si } f_i(\vec{x}_i) < 0 \end{cases} \quad (3.1)$$

où $f_i(\vec{x}_i)$ est la valeur de la fonction objectif de la solution \vec{x}_i .

A ce stade, les butineuses inactives et les éclaireuses qui sont entrain d'attendre au sein de la ruche. A la fin du processus de recherche, les butineuses actives partagent les informations sur le nectar des sources de nourriture ainsi que leurs localisations avec les autres abeilles via la



danse frétilante. Ces dernières évaluent ces informations tirées de toutes les butineuses actives, et choisissent les sources de nourriture en fonction de la valeur de probabilité P_i associée à cette source, et calculée par la formule suivante :

$$P_i = \frac{fit_i}{\sum_{n=1}^{SN} fit_n} \quad (3.2)$$

Où fit_i est la fitness de la solution i , qui est proportionnelle à la quantité de nectar de la source de nourriture en position i).

La source de nourriture dont le nectar est abandonné par les abeilles, les éclaireuses la remplacent par une nouvelle source. Si pendant un nombre prédéterminé de cycles appelé "limite" une position ne peut pas être améliorée, alors cette source de nourriture est supposée être abandonnée.

Toutes ces étapes sont résumées dans l'algorithme de la figure 3.

Entrée : S, W, O

Sortie : la meilleure solution

- 1- Initialiser la population avec S+W solutions aléatoires
- 2- Evaluer la fitness de la population
- 3- **Tant que** le critère d'arrêt n'est pas satisfait **faire**
- 4- Recruter O butineuses inactives et attribuer
- 5- chacune à un membre de la population
- 6- **Pour** chaque butineuse inactive affectée à un membre
- 7- *n* de la population **faire**
- 8- Effectuer une itération de l'algorithme de
- 9- recherche de nouvelle source
- 10- **Fin pour**
- 11- Evaluer la fitness de la population
- 12- **Si** un membre de la population ne s'est pas amélioré
- 13- au cours des itérations **faire**
- 14- Sauver la solution et remplacer la par une
- 15- solution aléatoire
- 16- Trouver S solutions aléatoires et remplacer les S
- 17- membres de la population qui ont la mauvaise fitness
- 18- **Fin Tant que**
- 19- **Retourner** la meilleure solution

Figure 3. 38 : algorithme de l'optimisation par colonie d'abeille.



3.1.4 Domaines d'application

Nombreux sont les domaines d'application des algorithmes d'abeilles, citons quelques-unes :

- L'optimisation de fonction.
- La résolution du problème du voyageur de commerce (TSP) qui a été faite par Lucic et Teodorovic et qui a donné de très bons résultats.
- L'apprentissage des réseaux de neurones tels que MLP, RBF, SNN, LVQ.
- Conception électronique et mécanique.
- Optimisation de filtre digital.
- Clustering de données.
- Contrôle de robot.
- L'ordonnancement de tâches.
- La prédiction de structure de protéine.

Majorité des problèmes qui ont été résolus par cette méthode, ont donné de très bons résultats concernant la valeur de la fonction objective, et le temps d'exécution qui a été acceptable.

3.2 Conclusion

Dans ce chapitre. Nous avons introduit l'ontologie de métaheuristiques. Puis nous avons détaillé la méthode d'optimisation par colonie d'abeille qui est l'une des récentes méthodes d'optimisation. Elle est représentée par un algorithme qui peut être appliqué à de nombreux problèmes d'optimisation dans le management, l'ingénierie, et le contrôle.

Elle est basée sur le concept de coopération qui rend les abeilles plus efficaces et ainsi arrivées à leurs buts rapidement. Cette méthode a la capacité, grâce à l'échange d'informations et le processus de recrutement d'intensifier la recherche dans les régions prometteuses de l'espace de solutions.



4 Chapitre 4

Contribution & Implémentation

Sommaire

<u>4</u>	<u>Chapitre 4</u>	78
<u>4.1</u>	<u>Introduction</u>	79
<u>4.2</u>	<u>Outils de développement</u>	79
<u>4.3</u>	<u>Contribution proposée</u>	80
<u>4.4</u>	<u>Simulation</u>	85
<u>4.5</u>	<u>Conclusion</u>	89



4.1 Introduction

La conservation d'énergie constitue un défi majeur pour différentes applications dans les réseaux de capteurs sans fil. Chaque nœud capteur consomme une quantité de la batterie pour la détection et une quantité pour la transmission et la réception des données collectées de/vers d'autres nœuds du réseau. L'énergie consommée dans l'opération de communication (dans les deux modes : transmission et réception) représente la plus grande partie de l'énergie totale consommée. A cet égard, de nombreux travaux traitent ce problème en cherchant à minimiser la consommation d'énergie produite par ce processus. En effet dans ce mémoire nous proposons des méthodes basées sur l'algorithme de l'optimisation par colonie d'abeille visant à optimiser l'énergie dépensée par les nœuds capteurs.

Dans ce présent chapitre, nous présentons notre contribution dans le cadre de minimisation de la consommation d'énergie dans les réseaux de capteurs sans fil.

4.2 Outils de développement

MATLAB (MATrix LABoratory) est un langage de script émulé par un environnement de développement du même nom ; il est utilisé à des fins de calcul numérique. Développé par la société The MathWorks, MATLAB permet de manipuler des matrices, d'afficher des courbes et des données, de mettre en œuvre des algorithmes, et de créer des interfaces utilisateurs [32].

Pour valider notre solution, nous avons effectué une série de simulation avec MATLAB 7.9.0(R2009b). Nous choisissons l'environnement de langage de programmation MATLAB pour simuler et valider notre contribution pour plusieurs raisons. Parmi lesquelles nous citons les suivantes :

- MATLAB offre un certain nombre de fonctionnalités pour la documentation et le partage du travail.
- MATLAB est un langage de haut niveau pour le calcul scientifique et technique.
- MATLAB possède des fonctions graphiques 2D et 3D pour visualiser les données graphiques destinés à la visualisation de données et outils conçus pour créer des tracés personnalisés.
- MATLAB contient des applications dédiées à l'ajustement de courbes, la classification de données, l'analyse de signaux et bien d'autres tâches spécialisées.



- MATLAB possède des boîtes à outils additionnelles conçues pour répondre à de nombreux besoins spécifiques aux ingénieurs et aux scientifiques.
- Programmation infiniment plus rapide pour le calcul et pour l'affichage.

Le tableau 4.1 suivant résume les différentes caractéristiques de l'ordinateur utilisé dans la simulation de notre solution proposée.

Tableau 4.1: Caractéristiques de l'ordinateur utilisé.

Matériel	Caractéristiques
Processeur	Intel(R) Core(TM) i5-2540M CPU @ 2.60GHz.
Mémoire (RAM)	4.00 Go.
Système d'exploitations	Microsoft Windows 7 professionnel 64-bit .

4.3 Contribution proposée

Afin de minimiser la consommation de l'énergie des nœuds capteurs, nous concevons une solution qui se base l'algorithme de l'optimisation par colonie d'abeille nommé Modified Bee Colony (M_Bee_Colony). D'abord, nous présentons le modèle de réseau. Ensuite, nous présentons le modèle d'énergie utilisé pour calculer l'énergie consommée dans les opérations de transmission et réception. Puis, nous citons les hypothèses sous les quelles notre contribution est opérationnelle. Enfin, nous détaillons notre contribution proposée.

4.3.1 Modèle du réseau

Dans notre contribution proposée, nous considérons un réseau de capteurs basé sur la structures en chaîne constitué de N nœuds homogènes distribués d'une manière aléatoire dans un zone à deux dimensions avec une SB fixe.

Pour transmettre les données capturées des nœuds sources vers la SB, nous avons pris en considération les critères suivants:

- Les nœuds capteurs sont organisés sous forme d'une seule chaîne. Cette dernière a un chef nommé leader.
- Le leader est le responsable d'envoyer les paquets de données à la SB.
- Afin de réduire la taille des paquets envoyés, l'agrégation de données a été utilisée.



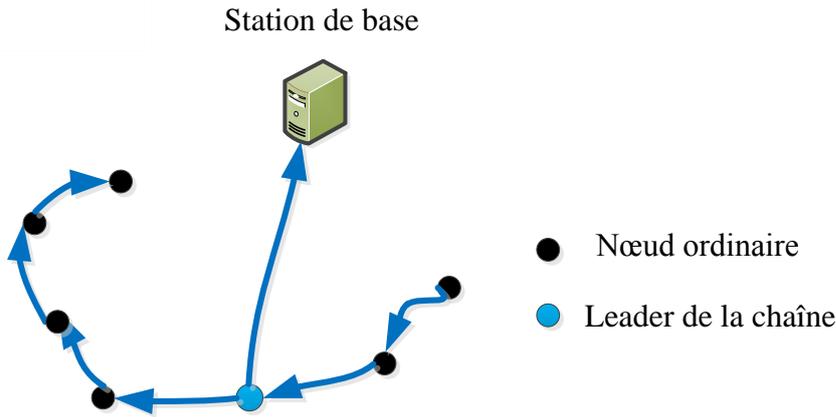


Figure 4.1: Modèle du réseau de notre contribution proposée.

4.3.2 Modèle d'énergie

Pour simuler notre protocole M_Bee_Colony proposé, nous utilisons le modèle de propagation de signal proposé par A. Heinzelman et al. [33] pour calculer le montant d'énergie consommée dans les deux opérations: la transmission et la réception de données.

Pour envoyer un message de L bits sur une distance de d , l'émetteur consomme un montant d'énergie $E_{TX}(L,d)$:

$$E_{TX}(L,d) = \begin{cases} L * E_{elec}(L,d) + L * \varepsilon_{fs} * d^2, & d < d_0 \\ L * E_{elec}(L,d) + L * \varepsilon_{mp} * d^4, & d \geq d_0 \end{cases} \quad (4.2)$$

Pour recevoir un message de L bits, le récepteur consomme un montant d'énergie $E_{RX}(L)$:

$$E_{RX}(L) = L * E_{elec} \quad (4.3)$$

Où

$E_{elec}(L,d)$ représente l'énergie suffisante pour transmettre ou recevoir un bit.

L représente la taille d'un message envoyé ou reçu.

ε_{fs} et ε_{mp} représentent les énergies pour l'amplification des signaux émis pour transmettre un bit dans un modèle à espace libre et dans un modèle à propagation par trajets multiples respectivement.

d représente la distance entre l'émetteur et le récepteur.

d_0 représente la distance seuil. La distance d_0 est donnée par:



$$d_0 = \sqrt{\frac{\varepsilon_{fs}}{\varepsilon_{mp}}} \quad (4.4)$$

La figure 4.2 illustre le modèle d'énergie utilisé pour simuler notre solution proposée.

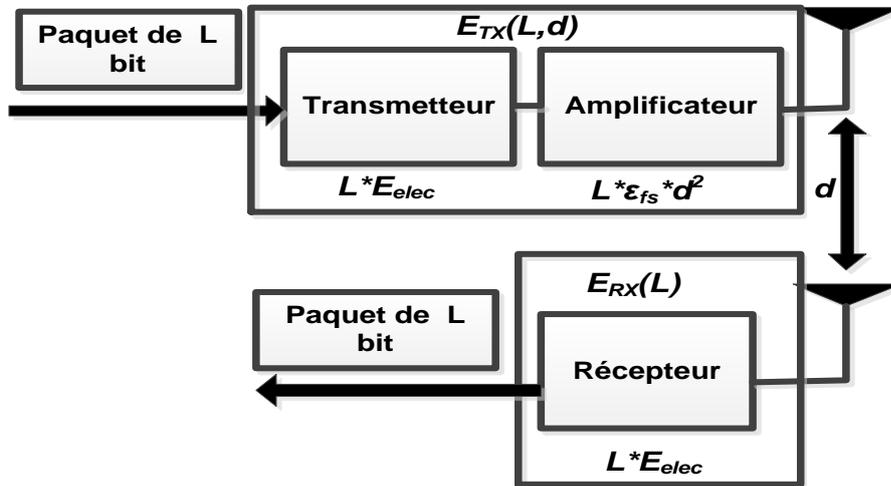


Figure 4.2 : Le modèle de l'énergie utilisé.

4.3.3 Hypothèses

Pour simuler notre protocole M_Bee_Colony proposé, nous supposons les hypothèses suivantes:

- L'énergie initiale est uniforme pour tous les nœuds.
- Dans chaque itération, chaque nœud a toujours des données collectées à transmettre.
- La localisation des nœuds est supposé connue par la SB.
- Les rayons de communication et les rayons de couverture sont supposés être les mêmes pour tous les capteurs.
- Chaque nœud peut jouer le rôle de nœud ordinaire et/ou nœud leader.
- La SB est supposé n'est pas limité en termes de puissance d'énergie, de calcul et de mémoire.
- Les liens sont symétriques de telle sorte que l'énergie nécessaire pour envoyer un message du nœud x au nœud y est la même que pour envoyer un message du nœud y vers le nœud x .

4.3.4 Description de la contribution proposée

Notre contribution est une solution centralisée. Initialement:

- Chaque nœud a un identifiants unique.



- Chaque nœud capteur envoie à la SB son identifiant, son énergie initiale et ses coordonnées. Pour faire l'analogie entre les abeilles à la recherche de nourriture dans la nature et les capteurs dans les problèmes d'optimisation, dans la consommation d'énergie dans le RCSF les principales idées utilisées pour la conception du protocole M_Bee_Colony proposé sont identifiées dans le tableau 4.2.

Ces analogies permettent d'adapter les caractéristiques naturelles d'auto-organisation et de partage de rôles aux problèmes d'optimisation dans la consommation d'énergie dans le RCSF pour garantir la performance globale du protocole M_Bee_Colony proposé.

Tableau 4.1: Analogie entre les abeilles en nature et l'optimisation proposée par notre contribution.

Nature	Notre contribution
Abeilles butineuses	Recherche aléatoire
Abeilles actives ou découvreuses	Meilleures solutions
Abeilles réceptrices	Solutions issues de la recherche au voisinage des meilleures solutions
Danse frétilante	Communiquer les espaces prometteurs pour une recherche locale
Source de nourriture	Une solution créée
Abondance de la source de nourriture	Abandonner l'espace de recherche en absence d'amélioration de solutions
Qualité, proximité et facilité d'extraction de la source de nourriture	Fitness de la solution

Notre protocole M_Bee_Colony proposé s'exécute en plusieurs itérations, chaque itération est divisé en deux phases: la phase de construction de la chaîne et la phase de transmission des données.

4.3.4.1 Phase de construction de la chaîne

Notre contribution a pour but de construire dans chaque itération une seule chaîne reliant tous les nœuds capteurs du réseau. Cette chaîne représente la meilleure solution trouvée après l'exécution de notre algorithme par la SB.

Dans le premier temps, une solution initiale est créée d'une manière aléatoire. Ensuite la fitness de cette solution est évaluée.



La fonction objectif utilisée pour sélectionner la meilleure solution (chaîne) est:

$$f(i) = \sum_{i=1}^{n-1} d(n_i, n_{i+1}) \quad (4.1)$$

Où $d(n_i, n_{i+1})$ est la distance euclidienne entre le nœud i et son voisin $i+1$.

La distance euclidienne est utilisée pour calculer la distance entre deux nœuds.

$$distance = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2} \quad (4.6)$$

Où x_i et y_i (respectivement x_j et y_j) sont les coordonnées du nœud i (respectivement nœud j).

Tandis que le critère d'arrêt n'est pas satisfait, autres solutions est créée afin de trouver une solution optimale pour l'itération en cours.

La solution optimale pour l'itération en cours est la chaîne qui produit une valeur minimale de la fonction objective.

Enfin, pour déterminer le leader de la chaîne sélectionnée, il existe deux scénarios:

Scénario 1: Il est déterminé en fonction de l'équation suivante:

$$Leader = R \text{ MOD } N \quad (4.2)$$

Où R représente le numéro de l'itération courante et N représente le nombre total de nœuds.

Scénario 2: Le nœud avec la plus grande quantité d'énergie résiduelle est choisi comme leader de la chaîne sélectionnée.

Toutes les étapes de cette phase sont résumées dans l'algorithme de la figure 4.3.



Entrée: Nombre de nœuds, numéro de l'itération courante

Sortie: Meilleure solution

- 18- Créer aléatoirement une solution initiale ;
- 19- Evaluer la fitness de la solution initiale;
- 20- **Tant que** le critère d'arrêt n'est pas satisfait **faire**
- 21- Créer autre solution ;
- 22- Evaluer la fitness de la solution créée ;
- 23- Effectuer une itération de l'algorithme de recherche de nouvelle source;
- 24- **Si** la valeur de la fitness est améliorée **faire**
- 25- Enregistrer la solution et remplacer l'ancienne solution par cette solution;
- 26- **Finsi**;
- 27- **Fin Tant que** ;
- 28- **Retourner** la meilleure solution.

Figure 4.2: Algorithme proposé pour la phase de construction de la chaîne.

4.3.4.2 Phase de transmission de données

Dans cette phase, les nœuds membres envoient ces données collectées vers le leader de la chaîne sélectionnée, ce dernier agrège les données reçus avec ses données. Puis le leader transmet les paquets de données directement vers la SB.

4.4 Simulation

Nous avons effectué une série de simulation afin de démontrer la performance de notre contribution. Dans ce qui suit, nous allons énumérer les paramètres de simulation et citer les différentes métriques d'évaluation. Puis, nous allons analyser et discuter les résultats de simulation.

4.4.1 Paramètres de simulation

Le tableau 4.2 résume les paramètres de simulation utilisés.

Tableau 4.2: Paramètres de simulation utilisés.



Paramètres	Valeurs
Taille du réseau	100*100 m ²
Nombre de nœuds	100
Coordonnée de SB	(50,50)
Énergie initiale (E_0)	0.1 J/node
E_{elec}	50 nJ/bit
Taille des paquets	100 byte
Nombre de paquets envoyés par itération	1
ϵ_{fs}	10 pJ/bit/m ²
ϵ_{mp}	0.0013 pJ/bit/m ⁴
Energie de l'agrégation de données (EDA)	5 nJ/bit
Nombre maximal d'itérations sans amélioration de la solution	5

4.4.2 Métriques de simulation

Afin de tester l'efficacité énergétique de notre contribution, nous avons considéré les métriques suivantes :

- Durée de vie du réseau : Nous avons calculé la durée de vie du réseau en termes de nombre d'itérations depuis le lancement du protocole jusqu'au le dernier nœud mort (jusqu'à tous les nœuds sont morts).
- Energie résiduelle : L'énergie résiduelle est définie comme la somme totale de l'énergie disponible dans le réseau de capteurs par rapport à la durée de vie du réseau.
- Données transmises à la SB : le leader collecte les informations envoyées par tous les nœuds de la chaîne et transfère ces informations directement à la SB. Cela garantit un taux optimal de transmission de paquets sur le réseau.
- Nombre des paquets de contrôle
- Nombre des nœuds vivants par itération.

4.4.3 Résultats de simulation

Les nœuds sont déployés d'une manière aléatoire sur une interface de (100x100) m². La figure 4.3 illustre la zone de déploiement de des différents nœuds.



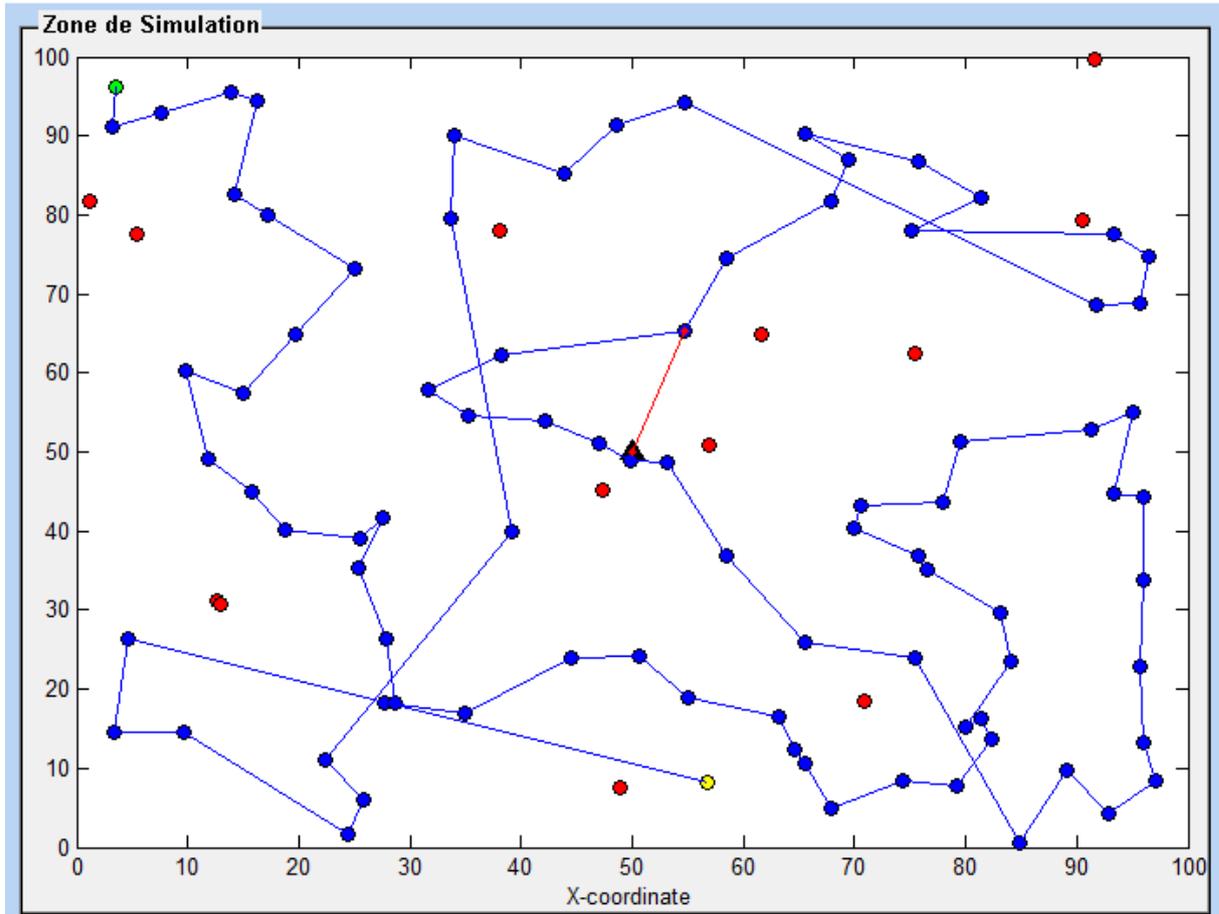


Figure 4.3: Zone de simulation.

Les résultats montrés ci-dessous représente la moyenne de 10 testes effectués en utilisant les même paramètres cité dans le tableau 4.2. Une comparaison a été faite entre les deux scénarios de notre protocole M_Bee-Colony.

4.4.3.1 Résultats

La figure 4.4 montre les différents résultats de simulation obtenus après l'exécution de de scénario 1 de notre protocole M_Bee-Colony.



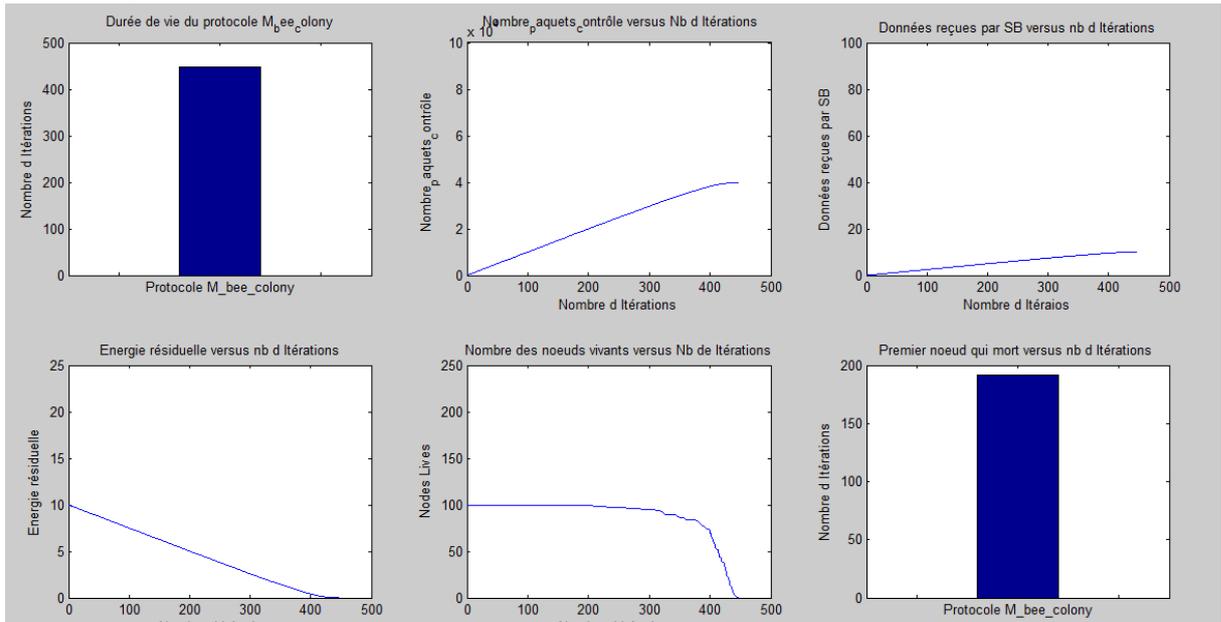


Figure 4.4: Résultats de simulation de scénario 1 de notre protocole M_Bee-Colony.

La figure 4.5 montre les différents résultats de simulation obtenus après l'exécution de scénario 2.

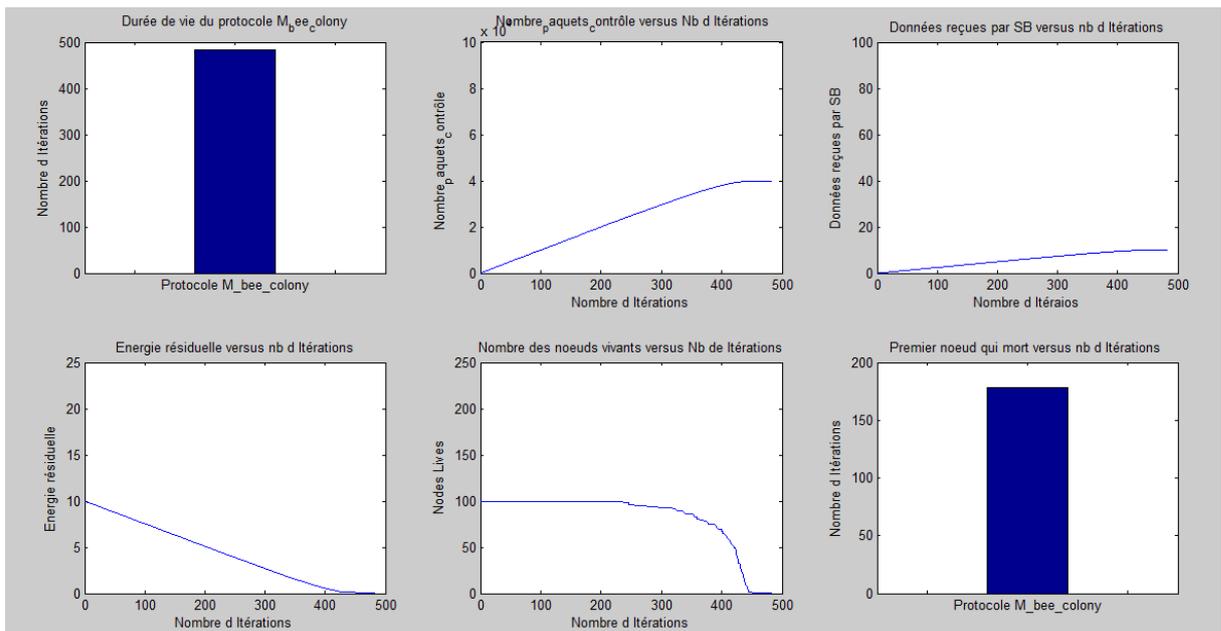


Figure 4.5: Résultats de simulation de scénario 2 de notre protocole M_Bee-Colony.

4.4.3.2 Analyses de résultats

Le résultat de la simulation illustré dans les figures 4.4 et 4.5 montre que le premier scénario de notre contribution consomme moins d'énergie avec l'évolution des itérations par rapport au deuxième scénario. Ici, nous observons clairement que le scénario 2 de notre



protocole M_Bee-Colony proposé est plus performant que le scénario 2 en termes d'optimisation de la durée de vie du réseau.

D'après ces résultats de la simulation, nous pouvons constater que le nombre des nœuds vivants diminue avec l'évolution des itérations pour les deux scénarios. Mais pour le deuxième scénario, il reste des nœuds vivants jusqu'à l'itération 285 contrairement au premier scénario dont les nœuds sont totalement morts après l'itération 440. Nous observons également que le premier nœud meurt dans le premier scénario de notre protocole M_Bee-Colony proposé après environ l'itération 190, mais après environ l'itération 180 dans le deuxième scénario proposé.

Donc, nous pouvons déduire que le deuxième scénario de notre protocole M_Bee-Colony proposé présente un rendement plus élevé en termes d'énergie consommée et de la durée de vie globale du réseau par rapport au premier scénario. Cela est dû à l'efficacité de notre stratégie utilisée dans ce scénario pour sélectionner le leader de la chaîne ainsi qu'à la technique utilisée dans la construction de la chaîne entre les nœuds de réseau.

4.5 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons décrit en détail notre contribution proposée. Ensuite, nous avons présenté la simulation de deux scénarios proposés de notre protocole M_Bee-Colony et les différents résultats obtenus.



Conclusion Général

Ces dernières années, le domaine des réseaux de capteurs sans fil a suscité un grand intérêt en raison de sa large gamme d'utilisations. Cependant, RCSF soulève plusieurs problèmes qui doivent être résolus afin de mieux utiliser ses performances. L'économie d'énergie est le plus grand défi auquel est confronté le RCSF. De nombreuses recherches sont en cours pour améliorer la longévité du réseau. Dans notre contribution, nous avons proposé le protocole M_Bee_Colony basé sur la méthode méta heuristique « algorithme de colonie d'abeilles » pour traiter le problème de dissipation d'énergie dans les RCSFs. Nous avons proposé deux scénarios de ce protocole selon le critère de sélection de leader de la chaîne construite. Les résultats de la simulation montrent que le deuxième scénario de notre protocole M_Bee_Colony suggéré réduire la consommation d'énergie des nœuds de capteurs et prolonge la durée de vie globale du réseau par rapport au premier scénario.

Nous pouvons déduire que le deuxième scénario de notre protocole M_Bee-Colony proposé présente un rendement plus élevé en termes d'énergie consommée et de la durée de vie globale du réseau par rapport au premier scénario. Cela est dû à l'efficacité de notre stratégie utilisée dans ce scénario pour sélectionner le leader de la chaîne ainsi qu'à la technique utilisée dans la construction de la chaîne entre les nœuds de réseau.

Nous avons proposé deux scénarios de ce protocole selon le critère de sélection de leader de la chaîne construite. Les résultats de la simulation montrent que le deuxième scénario de notre protocole M_Bee_Colony suggéré réduire la consommation d'énergie des nœuds de capteurs et prolonge la durée de vie globale du réseau par rapport au premier scénario.

Comme perspective, nous proposons les points suivants pour améliorer la performance de notre contribution face aux économies d'énergie :

- Examiner le cas de plusieurs scénarios et faire des comparaisons entre eux.
- Prenons le cas d'une station de base mobile.
- Comparer l'approche proposée avec d'autres techniques existantes dans la littérature pour voir leur efficacité dans le domaine des économies d'énergie en RCSF.



REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] G. Asada, M. Dong, T. S. Lin, F. Newberg, G. Pottie, W. J. Kaiser, Wireless Integrated Network Sensors: Low Power Systems on a Chip, Proceedings of the 1998 European Solid State Circuits Conference, 1998.
- [2] J. Agre, L. Clare, An integrated architecture for cooperative sensing networks, IEEE Computer Magazine 106 – 108, May 2000.
- [3] I.F. Akyildiz, W. Su, Y. Sankarasubramaniam, and E. Cayirci, "A Survey on Sensor Networks". IEEE Communications Magazine, August 2002.
- [4] C. Chong and S. Kumar, "Sensor networks: Evolution, opportunities, and challenges" Proceedings of IEEE, August 2003.
- [5] E. M. Royer and C. K. Toh, "A Review of Current Routing Protocols for Ad Hoc Mobile Wireless Networks". IEEE Personal Communications, Vol. 6, No. 2, April 1999, pp. 46-55.
- [6] P. Zhongmin, D. Zhidong, y. Bo, and C. Xiaoliang, "Application-oriented wireless sensor network communication protocols and hardware platforms: A survey," in Industrial Technology, 2008. ICIT 2008. IEEE International Conference on, 2008, pp. 1-6.
- [7] Y. Yaser, « Routage pour la Gestion de l’Energie dans les Réseaux de Capteurs Sans Fil », Thèse de Doctorat, université de Haute Alsace, 08 juillet 2010
- [8] L. Khelladi et N. Badache « Les réseaux de capteurs: état de l’art », Rapport de recherche, Algérie, Février 2004.
- [9] I. G. Lassous, « Autonomic Computing : Accès au médium radio », Cours M2 Recherche RTS, RTS5, Page(s) : 43-95, Université de Lyon, 15 Septembre 2007.
- [10] W. B. Heinzelman, «Application-Specific Protocol Architectures for Wireless Network », IEEE Transactions on Wireless Communications, Massachusetts Institute of Technology, June 2000.
- [11] W. R. Heinzelman, A. Chandrakasan and H. Balakrishnan, «Energy-efficient communication protocol for wireless microsensor networks », Proceedings of the 33rd Annual Hawaii International Conference on System Sciences, 2000.
- [12] C. L. Yang, W. Tarng, K.R. Hsieh and M. Chen, «A Security Mechanism for Clustered Wireless Sensor Networks Based on Elliptic Curve Cryptography», National Hsinchu University of Education, Hsinchu, Taiwan Ralink Technologies, Hsinchu, Taiwan Micrel Semiconductor Inc., San Jose, California, U.S.A.
- [13] D. E. Boubiche, «Protocole de routage pour les réseaux de capteurs sans fil», Mémoire de magistère, Université de l’Hadj Lakhdar, Batna, Algérie, 2008.
- [14] M. Malik and Y. Singh, «Analysis of LEACH Protocol in Wireless Sensor Networks», International Journal of Advanced Research in Computer Science and Software Engineering, February 2013.
- [15] F. Z. Benhamida, « La tolérance aux pannes dans les réseaux de capteurs sans fil », Rapport du mini projet, Institut National de Formation en Informatique INI, Algérie,



2006/2007.

[16] J. Champ et C Saad, «Un Nouvel Algorithme de Routage Géographique dans les Réseaux de Capteurs», Schedae, 2007, prépublication n° 19, (fascicule n° 2, p. 95-103).

[17] I.F. Akyildiz and M. C.VURAN, « Wireless Sensor Networks», John Wiley & Sons Ltd, 2010.

[19] M. Malik and Y. Singh, «Analysis of LEACH Protocol in Wireless Sensor Networks», International Journal of Advanced Research in Computer Science and Software Engineering, February 2013.

[20] W. Heinzelman, A. Chandrakasan, and H. Balakrishnan. Energy-Efficient Communication Protocols for Wireless Microsensor Networks. In Proceedings of Hawaiian International Conference on Systems Science, January 2000.

[21] Lindsey, S. ; Raghavendra, C. ; “PEGASIS : Power efficient gathering in sensor information systems”, international conference on communications, 2001.

[22] E.Shih, S.Cho, N.Ickes, R.Min, A.Sinha, A.Wang, A. Chandrakasan, “Physical layer driven protocol and algorithm design for energy-efficient wireless sensor networks”, Proceedings of ACM MobiCom '01, Rome, Italy, 2001, pp.272 –286.

[23] Savarese, C. Rabaey, J. ; “Localization in distributed Ad-Hoc wireless sensor network”. IEEE proceedings on acoustics, speech, and signal processing, pages 2037-2040, 2001.

[24] Lindsey, S. ; Raghavendra, C. ; “PEGASIS : Power efficient gathering in sensor information systems”, international conference on communications, 2001.

[25] Haiyun Luo, Fan Ye, Jerry Cheng, Songwu lu , Lixia Zhang, “TTDD: Two-tier Data Dissemination in Large-scale Sensor Networks”, MobiCom 2002.

[26] Manjeshwar, A. ; Agrawal, D.P. ; “TEEN: a routing protocol for enhanced efficiency in wireless sensor networks”, International proceedings of 15th parallel and distributed processing symposium, page 2009-2015, 2001.

[27] A. Manjeshwar, D.P. Agrawal, “APTEEN: a hybrid protocol for efficient routing and comprehensive information retrieval in wireless sensor networks”, in: The Proceedings of the 2nd International Workshop on Parallel and Distributed Computing [28] Issues in Wireless Networks and Mobile computing, Ft. Lauderdale, FL, April 2002.

[29] <https://www.techno-science.net/definition/3690.html>

[30] <https://www.techno-science.net/definition/11711.html>

[31] https://www.researchgate.net/figure/Pile-protocolaire-typique-des-reseaux-de-capteurs-sans-fil-Dans-ce-travail-de_fig2_308802089

[32] <https://fr.wikipedia.org/wiki/MATLAB>



- [33] Heinzelman, A. Chandrakasan, H. Balakrishnan, "An application-specific protocol architecture for wireless micro sensor networks", IEEE Transactions on Wireless Communications, vol. 1, no. 4, pp. 660-670, 2002.

