

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



Projet de fin d'étude
Pour l'obtention du diplôme de MASTER
Domaine : SCIENCE ET TECHNOLOGIE
Filière : GENIE ELECTRIQUE
Spécialité : RESEAU ET TELECOMMUNICATION

Thème

**Étude comparative des protocoles de routage
hiérarchiques LEACH et SEP dans RCSF**

Présenté Par :

- 1) BOUKHDIMI Mama
- 2) MEZIANE Djamila

Devant les jurys composés de :

| | | | |
|-------------------------|-----|--------------------------|-----------|
| Dr.Benosmane Mourad | MCB | C.U.B.B (Ain Temouchent) | President |
| Dr.Mme Abdelmalek Zohra | MCA | C.U.B.B (Ain Temouchent) | Examineur |
| Mr.Bendimmerad Karim | MAA | C.U.B.B (Ain Temouchent) | Encadrant |

Année universitaire 2017/2018

REMERCIEMENT

Nous remercions le bon dieu de nous avoir donné le courage et la santé d'accomplir ce modeste Travail, à mes très chers parents en signe de respect et de reconnaissance qui m'ont permis de réussir dans mes études ainsi que notre encadreur. Je ne manquerai pas de saluer tous ceux qui ont de près ou de loin participé à l'accomplissement de ce travail.

BOUKHDIMI Mama

MEZIANE Djamila

Dédicace

Je dédie ce modeste travail :

- ` **A** toute la famille,
- ` **A** tous ceux qui m'ont aidé,
- ` **A** ma binôme Djamila et sa famille.

BOUKHDIMI Mama

Dédicace

Je dédie ce modeste travail :

` **A** toute la famille,

` **A** ma voisine djihan,

` **A** ma binôme Mama et sa famille.

MEZIANE Djamila

Résumé

Les Réseaux de Capteurs Sans Fil (RCSF) sont un type particulier des réseaux sans fil, se caractérisent par ces éléments innovants est le nœud capteur avec sa taille réduite, cette dernière a été obligée d'utiliser un espace de stockage limité et une petite batterie donc sont deux contraintes majeure dans les RCSFs, et on a trouvé plusieurs études sur le sujet d'énergie d'un nœud capteur se base sur l'architecture logiciel .c'est dans ce but que nous avons étudié un algorithme de routage basic qui est le protocole LEACH et son amélioration SEP .Afin de proposer une proposition améliorée pour le SEP ,nous avons conduit une simulation à l'aide du simulateur réseau MATLAB ,dans laquelle les performances de nos algorithmes sont comparées.

Mots clés : RCSF, efficacité d'énergie, protocole de routage hiérarchique, approche basée cluster, cluster-head, LEACH, SEP.

Abstract

The Wireless Sensor Networks (RCSF) are a particular type of wireless networks, they are characterized by these innovative elements is the sensor node with its small size, the latter was forced to use a limited storage space and a small battery so, there are two major constraints in the RCSFs, and we have found several studies on the energy subject of a sensor node is based on the software architecture. It is for this purpose that we have studied a basic routing algorithm that is the LEACH protocol and its SEP improvement. In order to propose an improved proposal for the SEP, we conducted a simulation using the MATLAB network simulator, in which the performances of our algorithms are compared.

Keywords: WSN, energy efficient, hierarchical routing protocol, Cluster-based approach, cluster-head, LEACH, SEP.

| | |
|---|-----------|
| Remerciment | |
| Dédicace | |
| Résumé | |
| Sommaire | |
| Table de figure | |
| Liste d'abréviation | |
| Introduction générale | |
| Chapitre 1 : Les réseaux de capteurs sans fil | |
| I.1 Introduction | 9 |
| I.2 Description d'un nœud capteur | 9 |
| I.3 Architecture protocolair d'un nœud capteur | 11 |
| I.4 Discription d'un RCSF | 11 |
| I.4.a Définition d'un RCSF | 11 |
| I.4.b Architecture d'un RCSF | 12 |
| I.4.c Types d'architecture des RCSF | 12 |
| i.RCSF plats « flat » | 12 |
| ii.RCSF hiérarchique « hierarchical » | 13 |
| I.4.d Topologies des RCSF | 13 |
| i.La topologie en étoile | 13 |
| ii. La topologie en grille (ou maillé) | 13 |
| iii.La topologie arbre et cluster-tree | 14 |
| I.4.e La collection d'information | 15 |
| i. A la demande | 15 |
| ii.Suite à un évènement | 15 |
| I.4.f Domaines d'application des RCSF | 16 |
| i. Domaine militaire | 16 |
| ii. Domaine médical | 16 |
| iii. Domaine environnemental/industriel | 16 |
| iv. Domaine commercial | 16 |
| v. Domotique | 17 |
| a.Définition | 17 |
| b.Les fonctions de la domotique | 18 |

| | |
|--|-----------|
| La fonction de communication..... | 18 |
| La fonction de gestion d'énergie/scénarisation | 18 |
| La fonction de confort | 18 |
| La fonction de surveillance « monitoring » | 19 |
| La fonction de sécurité | 19 |
| I.5 Conclusion | 19 |
| Chapitre 2 :Approche sur le routage hiérarchique pour les RCSFs | |
| II.1 Introduction | 21 |
| II.2 Protocole de routage | 21 |
| II.2.a Définition de routage..... | 21 |
| II.2.b Les approches de routage dans les réseaux de capteurs..... | 21 |
| II.2.b.1 Classification selon la structure du réseau | 22 |
| Protocoles de routage à plat | 22 |
| Protocoles de routage hiérarchique | 22 |
| Protocoles basés sur la localisation géographique | 22 |
| II.2.b.2 Classification selon les modes opératoires..... | 23 |
| Routage basé sur la QoS..... | 23 |
| Routage basé sur multi-chemins | 23 |
| Routage basé sur la négociation | 23 |
| II.2.b.3 Classification selon la manière d'établissement de route | 24 |
| Protocoles proactifs | 24 |
| Protocoles réactifs | 24 |
| Protocoles hybrides | 24 |
| II.2.c Approche méthodologique proposée pour le routage hiérarchique dans les RCSF..... | 25 |
| Phase d'annonce et création de clusters | 25 |
| Phase d'ordonnement | 25 |
| Phase de transmission | 25 |
| II.3 LEACH | 26 |
| II.3.a Définition et architecture de «LEACH » | 26 |
| II.3.b Fonctionnement du« LEACH » | 27 |
| II.4 « SEP » | 28 |
| II.5 Conclusion | 30 |

| | |
|--|-----------|
| Chapitre 3 : Simulation de protocole LEACH et SEP | |
| III.1 Introduction | 32 |
| III.2 Choix du simulateur | 32 |
| III.2.a Outils et simulateurs dédiés | 32 |
| i.NS-3 | 32 |
| ii.OMNET++ | 32 |
| iii.AVRORA | 32 |
| III.2.b Choix de simulateur Matlab | 32 |
| III.3 Étapes de la simulation | 33 |
| III.3.a Modél de consommation d'énergie | 33 |
| III.3.b Déploiement des noeuds capteurs | 33 |
| III.3.c Paramètres de simulation | 34 |
| III.3.d Sélection des CHs et Création des clusters | 35 |
| III.3.e Résultats graphiques –comparatifs LEACH/SEP | 35 |
| III.3.f Résultats et interprétation..... | 38 |
| i. LEACH | 38 |
| ii. SEP | 39 |
| III.4 Conclusion | 39 |
| Conclusion | |
| Référence | |

Table de figure :

Figure I.1 : Parties accessoires (composants matériels) d'un nœud capteur

Figure I.2 : Unités fonctionnelles d'un nœud capteur

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

Figure I.4 : Architecture de communication d'un réseau de capteur sans fil

Figure I.5 : Architecture Plat d'un RCSF

Figure I.6 : Architecture hiérarchique d'un RCSF

Figure I.7 : Topologie Etoile

Figure I.8 : Topologie en grille

Figure I.9 : Topologie Cluster-Tree

Figure I.10 : Collecte à la demande

Figure I.11 : Collecte suite à un événement

Figure I.12 : La circulation des informations dans une maison « intelligente »

Figure II.1 : Les approches de routage dans les réseaux de capteurs

Figure II.2 : Classification selon la structure de réseau

Figure II.3 : Classification selon leur mode opératoire

Figure II.4 : Classification selon la manière d'établissement de route

Figure II.5 : Communication hiérarchique d'un RCSF

Figure II.6 : Architecture de routage hiérarchique LEACH

Figure II.7 : Architecture de routage hiérarchique LEACH

Figure II.8 : Time Lin Operation Of LEACH

Figure II.9 : Time Lin Operation Of SEP

Figure III.1 : fixation des nœuds capteur sur programme.

Figure III.2 : Déploiement de 15 nœuds capteur

Figure III.3 : Répartition des clusters selon notre positionnement des nœuds capteur fixé pour « LEACH » (à droite) et « SEP » (à gauche)

Figure III.4 (a,b,c,d): Variation de l'énergie moyenne des nœuds capteurs en fonctions du nombre de tours « rounds » (a :25, b :50, c :80 et d :100)

Figure III.5 : Nombre de paquets transmis à BS pour un nombre de tours déterminé (100)

Figure III.6: Stabilité du nombre des nœuds vivants/morts dans le réseau sur nombre de tours déterminé (100) (a,b) puis 9000 (c,d).

Liste d'abréviation :

SB : Station de Base

RCSF : Réseau de Capteur Sans Fil

Wifi : Wirless Fidelity

SMS : Short Message Service

LEACH : Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy

SEP : Stable Election Protocol

EAR : Energy Aware Routing

MCFA : Menimum Cost Forwarding Algorithm

GPS : Global Position System

DREAM : Distance Routing Effect Algorithm For Mobility

QoS : Qualite De Service

SPEED : A Stateless Protocol For Real Time Communication In Senor Networks

AOMDV : Ad hoc On Demand Multipath Distance Victor Protocol

SPIN : Sensor Protocols For Information via Negotiation

GSR : Global Strate Routing

DSR : Dinamic Source Routing

ZRP : Zone Routing Protocol

CH : Cluster Head

NM : Nœud Membre

MAC : Media Aecess Control

TDMA : Time Division Multiplexage Acces

CDMA : Code Division Multiplexage Access

CSMA : Carrier Sense Multipl Access

TS : Time Slot

NS : Network Simulator

OMNET : Objectiv Modular Network Tested

MATLAB : MATrix LABoratory

Liste de tableau :

Tableau III.1 : Paramètres de simulation

Tableau III.2 : comparatif des observations/évaluations entre LEACH et SEP

CONCLUSION

INTRODUCTION GENERALE

Les récentes avancées technologiques dans le domaine des systèmes micro-électroniques et des communications sans fil ont permis le développement des capteurs. Les réseaux de capteurs sans fil (RCSF) ou WSN (en anglais : Wireless Sensor Networks) sont considérés comme l'une des plus importantes avancées technologies du 21^e siècle.

Un RCSF comprend un grand nombre de nœuds capteurs spatialement répartis pour surveiller, collecter et transmettre de manière coopérative diverses conditions environnementales (température, son, vibrations, pression, mouvement, polluants, etc.) vers une station de base qui sert de passerelle vers d'autres réseaux. Ces caractéristiques ouvrent de grandes opportunités et de relèvent d'énormes défis répondant aux exigences d'innombrables secteurs et applications (militaire/civil, domestique/industriel, scientifique/loisirs, médical/environnemental, etc.)

Cependant en parallèle de leurs possibilités indéniables, les RCSF font face à des contraintes et des difficultés certaines. Les nœuds capteurs souffrent d'handicaps techniques : taille réduite, source d'énergie limitée, espace de stockage faible et capacités de calculs limités. Parmi ces facteurs, la maîtrise de la consommation d'énergie et donc la maximisation de la durée de vie des nœuds capteurs demeure parmi les contraintes les plus significatives, de par le fait qu'ils soient alimentés par des batteries de capacité très limitée et généralement non rechargeables et non-remplaçables. Par conséquent, l'économie d'énergie ou la minimisation de celle-ci contribue grandement dans la prolongation de la vie du réseau. En d'autres termes, pour qu'un réseau de capteurs reste autonome pendant une longue durée et donc ait une longévité maximale (quelques mois ou quelques années), il faut que le facteur de la consommation d'énergie soit pris en compte à tous les niveaux de l'architecture réseaux (de la couche physique à la couche application), le rendant ainsi très contraignant. En exploitant la notion que les nœuds capteurs agissent comme des routeurs, la détermination de la technique de cheminement ou le protocole de routage joue une fonction clé dans la gestion et le contrôle de la consommation d'énergie.

Dans cet optique, Des protocoles sont nécessaires pour à la fois assurer l'ordonnancement d'activité permettent aux capteurs de passer du mode actif, dans lequel ils participent à la vie du réseau, au mode veille. Les décisions de changement d'état peuvent être prises par une entité centrale avec une connaissance globale du réseau, ou par les nœuds eux-mêmes qui se basent alors uniquement sur des informations de voisinage.

Notre mémoire est structuré comme suit : le premier chapitre présente une introduction au domaine des réseaux de capteurs sans fils . Nous commençons d'abord par la définition des différentes notions et concepts gravitant autour de cette thématique, ensuite nous exposons quelques domaines d'application des RCSFs, et finalement on passe par la domotique.

Le deuxième chapitre décrit dans le premier volet les différents protocoles de routage hiérarchique dans ce réseau avec une description plus au moins détaillée. Dans le second volet, ce chapitre passe en revue les deux protocoles de routage hiérarchique dans les RCSFs LEACH et SEP qui permettent la minimisation de la consommation d'énergie. Enfin, une comparaison entre ces derniers est présentée.

Dans le troisième chapitre, nous présentons la simulation de protocole de routage LEACH et SEP sous contrainte énergétique dans les RCSFs avec une description.

CHAPITRE 1

Les réseaux de capteurs sans fil

I.1 Introduction

Les progrès récents dans la technologie des systèmes micro-électromécaniques, les communications sans fil, et l'électronique numérique ont permis le développement de petits dispositifs peu coûteux, de faible puissance, qui peuvent communiquer entre eux, appelés capteurs ou nœuds capteurs. Ces derniers communiquent entre eux via une communication sans fil pour le partage d'information et le traitement coopératif, ils sont déployés aléatoirement dans une zone d'intérêt pour superviser ou surveiller des phénomènes divers (température, humidité, vibration, luminosité, ...etc.). Ces dispositifs coopèrent entre eux pour former une infrastructure de communication appelée Réseau de Capteurs Sans Fil (RCSF).

Ce chapitre a pour objectif de décrire les caractéristiques générales des nœuds capteurs et des RCSF. Pour ces derniers, nous aborderons les notions d'architectures et de topologies, leurs domaines d'applications variés [10].

I.2 Description d'un nœud capteur (Figure I.1) :

Un nœud capteur est un petit appareil autonome capable d'effectuer des mesures simples sur son environnement immédiat, comme la température, la vibration, la pression, etc. Chaque nœud capteur assure trois fonctions principales (**Figure I.1**) : la collecte, le traitement et la communication de l'information vers un ou plusieurs points de collecte appelés station de base (« Base Station » : BS) [8]

D'un point de vue organisationnel, il est constitué de (**Figure I.2**) :

I.2.a Unité de capture : elle contient un dispositif de capture physique qui prélève l'information de l'environnement local et un convertisseur analogique/numérique. Elle passe la mesurant à l'unité de traitement.

I.2.b Unité de traitement : elle est composée d'un processeur et d'une petite mémoire, à deux interfaces, une interface pour l'unité d'acquisition pour acquérir les informations reçues et une autre pour l'envoi à l'unité de transmission

I.2.c Unité de transmission : elle est composée d'un émetteur/récepteur (module radio) pour assurer toutes les émissions et réceptions de données.

I.2.d Unité d'énergie : C'est une batterie qui est limitée et irremplaçable, responsable à la gestion de l'énergie et de l'alimentation de tous les composants du capteur. Ce qui rend l'énergie comme principale contrainte pour un capteur [8]. C'est une unité importante dans le nœud capteur. Elle peut avoir deux aspects, essentiellement de :

- Stocker l'énergie (exemple : pile AA normale d'environ 2.2-2.5 Ah fonctionnant à 1.5 V) et la fournir sous la forme requise. Chaque composant dans le nœud sans fil est alimenté par cette source, et sa capacité limitée exige un fonctionnement au rendement optimum pour les tâches effectuées par chaque composant,
- Reconstitution de l'énergie consommée par un réapprovisionnement (grâce à une source externe : cellules solaires, température, vibration, etc.). C'est une technique de récupération d'énergie par l'énergie thermique, cinétique, etc. Cette technique est utilisée pour des applications où une plus longue vie de réseau est essentielle [12].

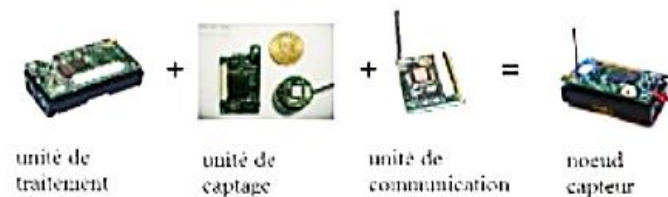


Figure I.1 : Parties accessoires (composants matériels) d'un nœud capteur [2]

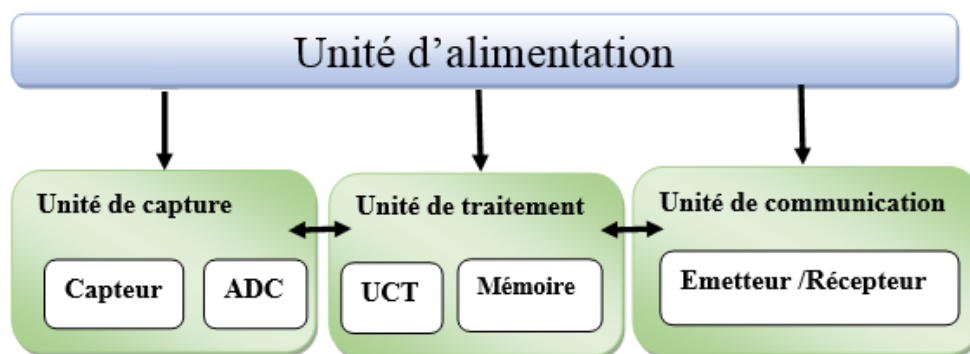


Figure I.2 : Unités fonctionnelles d'un nœud capteur [10]

I.3 Architecture protocolaire d'un nœud capteur :

I.3.a La couche application : elle assure l'interface avec les applications. C'est le niveau le plus proche des utilisateurs, géré directement par les logiciels.

I.3.b La couche transport : elle est chargée du transport des données, au découpage des données en paquets, ainsi que la conservation de l'ordre des paquets.

I.3.c La couche réseau : elle s'occupe de l'acheminement des données ou routage. Le protocole de routage est le principal acteur dans cette couche réseau.

I.3.d La couche liaison de données : cette couche s'occupe du multiplexage des données, elle s'occupe aussi de la méthode d'accès au canal.

I.3.e La couche physique : elle est relative à la technologie ou l'architecture utilisée [11].

I.4 Description d'un RCSF :

I.4.a Définition d'un RCSF :

Un RCSF est un type spécial de réseau ad hoc où l'infrastructure de communication et l'administration centralisée sont absentes [3] : il est constitué (**Figure I.3**) d'un ensemble de nœuds capteurs dispersés dans une zone géographique appelée champs de captage. Chacun de ces nœuds a la capacité de collecter les données, les router vers la station de base (le nœud puits) via une communication multi-sauts, et par la suite vers l'utilisateur final. Le nœud puits peut communiquer avec le nœud coordinateur de tâches (utilisateur) par internet ou par satellite [8].

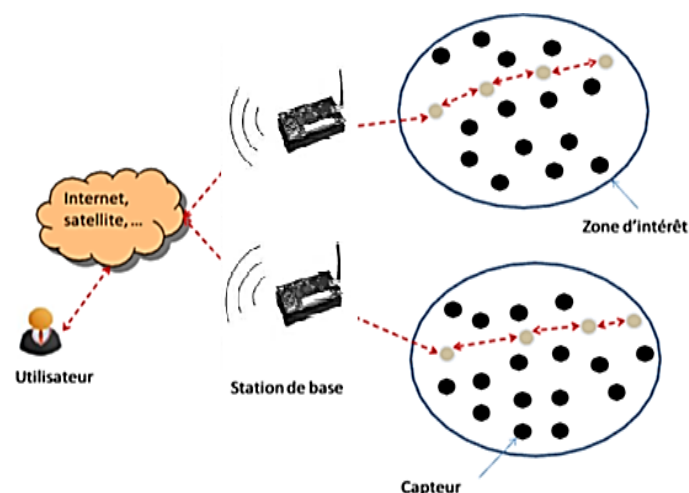


Figure I.3 : Exemple d'un réseau de capteur sans fil [12]

I.4.b Architecture d'un RCSF (Figure I.4):

Chacun des nœuds du réseau a la possibilité de collecter les données et de les router vers une ou plusieurs stations de base « sink node » jusqu'à ce dernier point c'est le réseau d'acquisition des données. « sink node » est un point de collecte de données capturées. Il peut communiquer les données collectées à l'utilisateur final, à travers un réseau de communication internet, donc de « sink node » à l'utilisateur c'est le réseau de distribution des données. On conclut que le RCSF peut être vu comme étant une combinaison de deux entités réseau : réseaux d'acquisition et distribution de données [9].

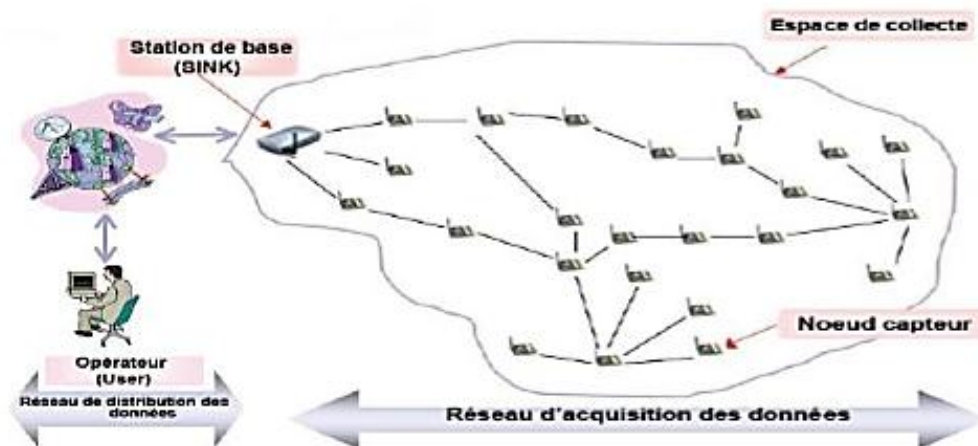


Figure I.4 : Architecture de communication d'un réseau de capteur sans fil [9]

I.4.c Types d'architecture des RCSF :

- i. **RCSF plats « flat » (Figure I.5) :** un RCSF plat est un réseau homogène, où tous les nœuds disposent des mêmes capacités dans la communication, captage d'information et un sink différent puisque il joue le rôle de passerelle chargée de transmettre les informations collectées à l'utilisateur [9].

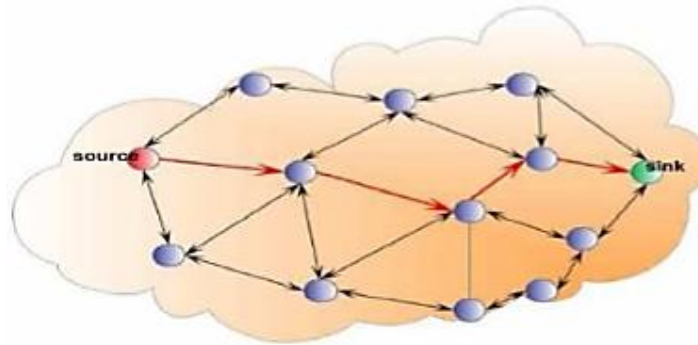


Figure I.5: Architecture Plat d'un RCSF [9]

- ii. **RCSF hiérarchique « hierarchical » (Figure I.6)** : c'est un réseau hétérogène où les nœuds peuvent disposer d'une source énergétique, d'une portée de communication ou d'une puissance de calcul différente les uns des autres [9].

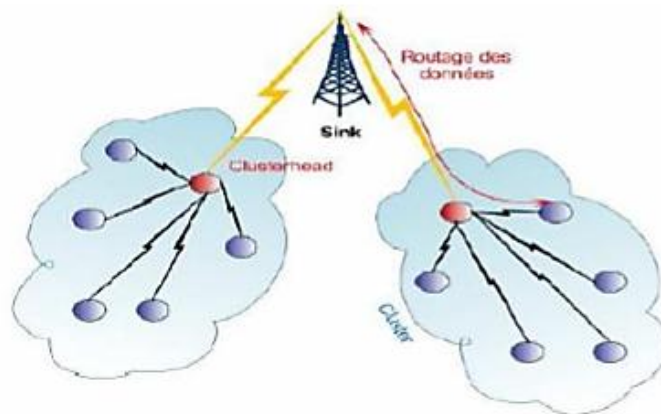


Figure I.6 : Architecture hiérarchique d'un RCSF [9]

I.4.d Topologies des RCSF :

- i. **Topologie en étoile (Figure I.7)** : Dans cette topologie une station de base peut envoyer ou recevoir un message à un certain nombre de nœuds. Ces nœuds peuvent seulement envoyer ou recevoir un message de l'unique station de base, il ne leur est pas permis de s'échanger des messages [9]

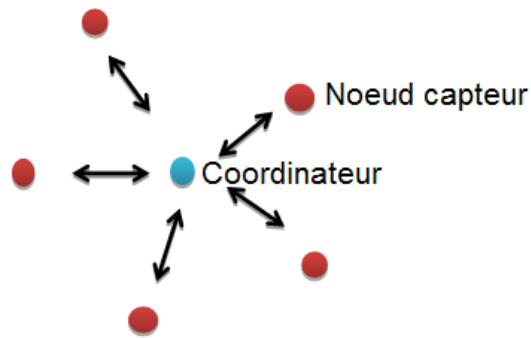


Figure I.7 : Topologie Etoile [13]

- ii. **Topologie en grille (ou maillée) (Figure I.8)** : Dans cette topologie, n'importe quel nœud peut envoyer à n'importe quel nœud dans le réseau qui est dans la portée de transmission. Ceci est appelé la communication multi-saut. [9]

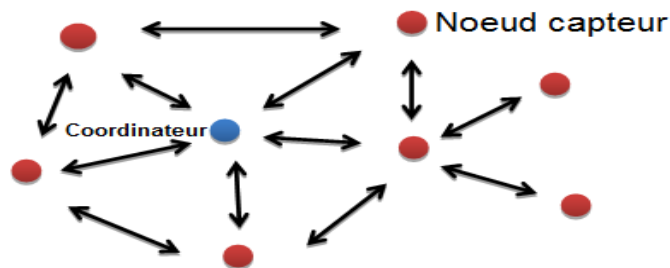


Figure I.8 : Topologie en grille [13]

- iii. **Topologie arbre « cluster-tree » (Figure I.9)** : elle est partitionnée en groupes appelés "clusters". Un Cluster est constitué d'un nœud particulier appelé tête de cluster « cluster-head » et d'autres nœuds. Ces derniers ne communiquent qu'avec leur « cluster-head ». Ce dernier est ensuite en charge de faire suivre les messages reçus vers le puits du réseau. Cette topologie est alors hiérarchisée selon le rôle des éléments du réseau (coordinateur, têtes de cluster, nœuds) [13].

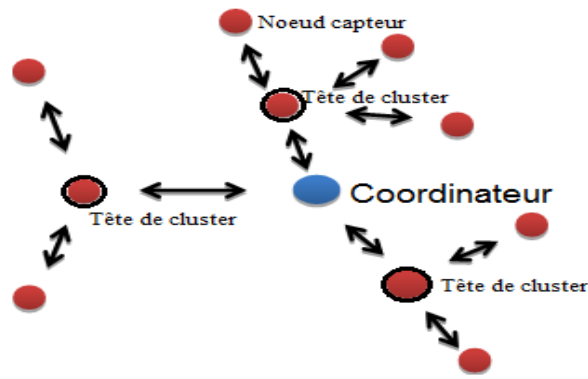


Figure I.9 : Topologie Cluster-Tree [13]

I.4.e La collection d'information :

Il existe deux méthodes pour collecter les informations des RCSF :

- i. **A la demande (Figure I.10) :** Lorsqu'on souhaite avoir l'état de la zone de couverture à un moment T, le puits émet des « broadcasts » vers toute la zone pour que les capteurs remontent leur dernier relevé ver le puits, les informations sont alors acheminées par le biais d'une communication multi-sauts.

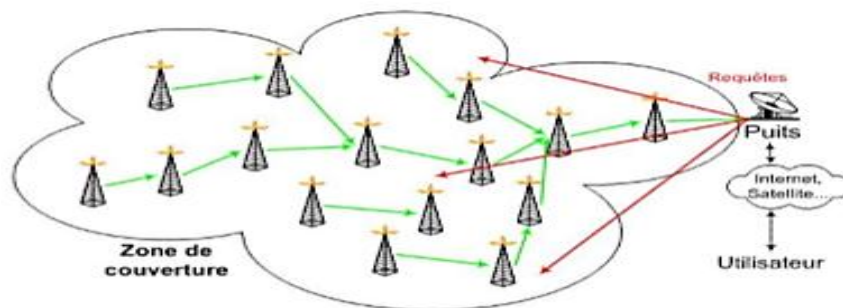


Figure I.10 : Collecte à la demande

- ii. **Suite à un évènement (Figure I.11) :** Un évènement se produit en un point de la zone de couverture (changement brusque de la température, mouvement), les capteurs situés à proximité remontent alors les informations relevées et les acheminent jusqu'au puits.

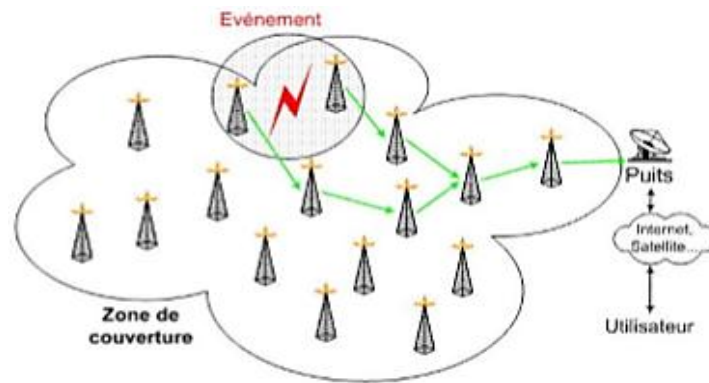


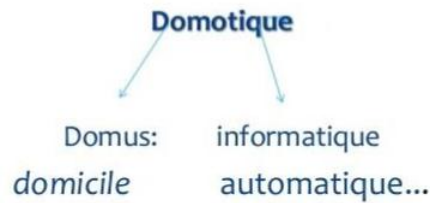
Figure I.11 : Collecte suite à un événement

I.4.f Domaines d'application des RCSF :

- i. **Domaine militaire :** Le domaine militaire a été le moteur initial pour le développement des réseaux de capteurs, dans le but de développer les bombes...etc.
- ii. **Domaine médical :** les RCSF fournissent une interface d'aide pour les handicapés, collectent des informations physiologiques humaines de meilleure qualité, facilitant ainsi le diagnostic de certaines maladies, surveillent en permanence les malades et les médecins à l'intérieur de l'hôpital.
- iii. **Domaine environnemental/industriel :** Les capteurs peuvent être exploités pour détecter les catastrophes naturelles (feux de forêts, tremblements de terre, etc.), détecter des émanations de produits toxiques (gaz, produits chimiques, pétrole, etc.) dans des sites industriels tels que les centrales nucléaires ou pétrolières.
- iv. **Domaine commercial :** Dans ce secteur on peut énumérer plusieurs applications comme : la surveillance de l'état du matériel, le contrôle et l'automatisation des processus d'usinage, etc.

v. Domotique :

➤ A. Définition :



La domotique, du latin « domus » signifiant maison + « tique » relatif à automatique, est l'ensemble des technologies de l'électronique, de l'information et des télécommunications permettant d'automatiser des endroits habitables. L'installation domotique peut être pilotée localement ou à distance depuis notre smartphone, un écran tactile ou encore un ordinateur.

La domotique permet de superviser, de coordonner et de programmer les fonctions de l'habitat afin de répondre à nos attentes en termes de sécurité, de confort, de gestion d'énergie et de communication. Des micro-capteurs facilitent la tâche aux utilisateurs en leur permettant de contrôler ces appareils domestiques (aspirateurs, fours à micro-ondes, réfrigérateurs, etc.) localement ou à distance via un réseau externe. Par ailleurs, dans les maisons intelligentes, on peut placer des capteurs de mouvement ou de température sur les murs ou le plafond permettant d'automatiser plusieurs tâches de l'utilisateur tels que : le contrôle de la lumière et la climatisation en fonction du mouvement des personnes. Ils peuvent aussi être déployés pour former un système de sécurité en déclenchant une alarme en présence d'un intrus [8]. Elle participe également à l'aide au maintien à domicile des personnes âgées ou handicapées en facilitant leur quotidien.

Figure I.12 permet de mieux comprendre la circulation des informations dans une maison « intelligente » [8].

Sens 1 : Circuit de commande, transmission des informations pour la réalisation d'une tâche à partir du tableau électrique, le Wifi, etc.

Sens 2 : Informations sur l'état des appareils

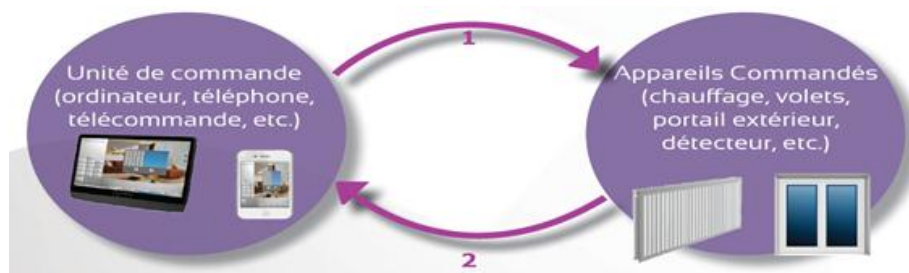


Figure I.12 : la circulation des informations dans une maison « intelligente »

➤ B. Fonctions de la domotique :

Fonction de communication : une centrale domotique sait communiquer : [par téléphone, par ordinateur (internet)]. Ceci permet à une personne de recevoir l'état de son installation et d'émettre des alertes et piloter sa maison de n'importe quel endroit du monde, de son bureau ou de sa voiture.

Fonction de gestion d'énergie/scénarisation : la programmation des seuils de température et d'éclairage est l'une des principales sources d'économie. Elle peut être journalière ou hebdomadaire. Des sondes peuvent renseigner la centrale sur les valeurs de température et/ou de luminosité dans chaque pièce. Elle tient compte de la présence d'un occupant et s'adapte automatiquement à son emploi du temps : (extinction des éclairages inutiles, réglage de l'intensité lumineuse en fonction de l'activité, un simple appel téléphonique suffit pour augmenter le chauffage en prévision de l'arrivée des occupants, etc.).

Au moment de quitter un habitat ou un commerce, la mise en fonction de l'alarme déclenche une série de contrôles et d'actions (centralisation des commandes) : (fermeture de toutes les lumières, coupure de l'arrivée de gaz, vérification de la fermeture de toutes les fenêtres, allumage de la lumière extérieure durant quelques minutes s'il fait nuit, etc.)

Fonction de confort : (Ouverture automatique des portes et portails, allumage automatique de la lumière, arrosage automatique du jardin, ouverture/fermeture des volets ou les stores, programmation d'une ambiance sonore dans la maison [8], etc.)

Fonction de surveillance « monitoring » : (détection de : inondation, incendie, fuites de gaz, arrêt du congélateur, coupure de courant, vent ou pluie, etc.).

La centrale intervient instantanément pour couper les alimentations, remonter les stores, couvrir la piscine, appeler les numéros d'urgence ou faire retentir la sirène si l'occupant est présent.

La fonction de sécurité : contrairement à un système d'alarme traditionnel, une centrale domotique agit sur toute l'installation électrique de l'habitation. Elle dissuade les intrus en simulant une présence par l'allumage aléatoire des éclairages, de la radio ou l'ouverture des volets durant la journée, être averti d'un incident (alarmes techniques) par SMS et/ou par e-mail. Les accès à un logement ou à un commerce sont contrôlés et enregistrés si une intrusion est détectée.

I.5 Conclusion

A travers ce chapitre, nous avons succinctement montré quelques aspects des nœuds capteurs et des RCSF à travers leurs architectures, leurs caractéristiques et leurs domaines d'applications. Parmi les applications citées il y en a une qui nous intéresse par-dessus tout c'est l'application domotique orientée sécurité « indoor/outdoor ». L'aspect efficacité énergétique y est significatif et contraignant, d'où l'importance de la modélisation du routage de contrôle et donc la nécessité de définir les protocoles de routages correspondants. Cela va être traité en **Chapitre II**.

CHAPITRE 2

Approche sur le routage hiérarchique
dans les RCSFs

II.1 Introduction

La problématique majeure dans les RCSFs est la maîtrise de l'énergie consommée par chaque nœud capteur, ce qui nécessite l'optimisation de cette dernière pour allonger la durée de vie du réseau. Cette problématique a été largement étudiée et plusieurs techniques ont été utilisées afin d'assurer l'efficacité énergétique. Parmi ces derniers la technique d'équilibrage de charge est très avantageuse grâce à sa capacité de partager de trafic sur tous les nœuds. Dans ce chapitre nous allons décrire en premier lieu, les protocoles de routage dans les RCSFs et nous avons cité des exemples. Dans un deuxième lieu, nous allons exposer deux protocoles de routage hiérarchique dans les RCSFs qui assurent l'efficacité énergétique [16]. Le LEACH est le premier protocole de routage basé sur un cluster implémenté. Il est également considéré comme la base des autres protocoles de routage de cluster. Dans le chapitre suivant on va prendre le protocole LEACH et son extension SEP.

II.2 Protocole de routage

II.2.a Définition de routage Le routage consiste à trouver un chemin pour envoyer le message de la source à la destination. Dans le cadre des RCSFs, il doit être efficace en énergie. Pour cela, il faut bien sûr être capable de trouver un chemin qui ne consomme pas trop d'énergie, qui ne soit pas trop long également. [16]

II.2.b Les approches de routage dans les réseaux de capteurs (Figure II.1) : Pour permettre la communication dans un réseau de capteurs, employer un protocole de routage basé sur la communication multi-sauts est nécessaire. Cependant, il existe une multitude de protocoles dont le principe de fonctionnement diffère selon la philosophie de l'approche à laquelle ils appartiennent. Ces approches peuvent être distinguées suivant : la structure du réseau, les objectifs des protocoles et l'établissement de route. La figure suivante représente les approches de routage dans les réseaux de capteurs. [16]



Figure II.1 : Les approches de routage dans les réseaux de capteurs [16]

II.2.b.1 Classification selon la structure du réseau (Figure II.2) : Les protocoles de routage basés sur la structure du réseau peuvent être classifiés en trois catégories.

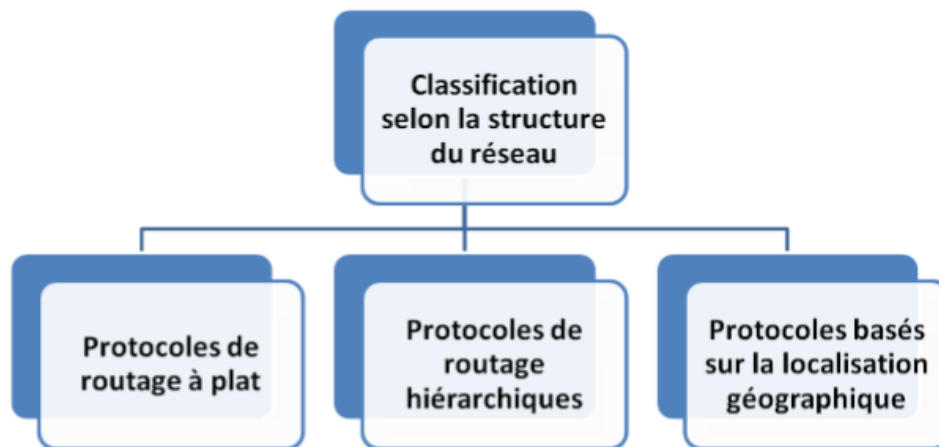


Figure II.2 : Classification selon la structure du réseau. [16]

Protocoles de routage à plat : Un réseau de capteurs sans fil plat est un réseau homogène, où tous les nœuds sont identiques en termes de batterie et des fonctions, excepté la SB, On peut citer parmi les protocoles à plat : EAR (energy aware routing) et MCFA (minimum cost forwarding algorithm).[16]

Protocoles de routage hiérarchique : Certains nœuds sont sélectionnés pour exécuter des fonctions particulières. Un nœud peut être, par exemple, une passerelle pour un ensemble de nœuds. Dans ce cas, le routage devient plus simple, puisqu'il s'agit de passer par les passerelles pour atteindre le nœud destination. Cette catégorie contient :

LEACH choisit aléatoirement les nœuds cluster-heads et attribue ce rôle aux différents nœuds selon la politique de gestion Round-Robin. L'objectif est de garantir une dissipation équitable d'énergie entre les nœuds. Dans le but de réduire la quantité d'informations transmises à la station de base, les cluster-heads agrègent les données capturées par les nœuds membres qui appartiennent à leur propre cluster, puis envoient un paquet agrégé à la station de base.

Protocoles basés sur la localisation géographique : Un routage est dit géographique lorsque les décisions de routage sont basées sur la position des nœuds. Tous les nœuds possèdent un moyen de localisation, soit un système natif comme le GPS (Global Position System), soit un système logiciel comme un protocole de localisation. Un nœud source connaît toujours la position du nœud destinataire. Pour ce faire, soit tous les nœuds connaissent les positions initiales de tous les nœuds, soit un service de localisation doit être utilisé.

Parmi les protocoles qui sont fondés sur cette architecture, nous citons :

Le protocole DREAM (Distance Routing Effect Algorithm for Mobility)[16]

II.2.b.2 Classification selon les modes opératoires (Figure II.3) : Les protocoles de routage basés selon les modes opératoires peuvent être classifiés en trois catégories. [16]

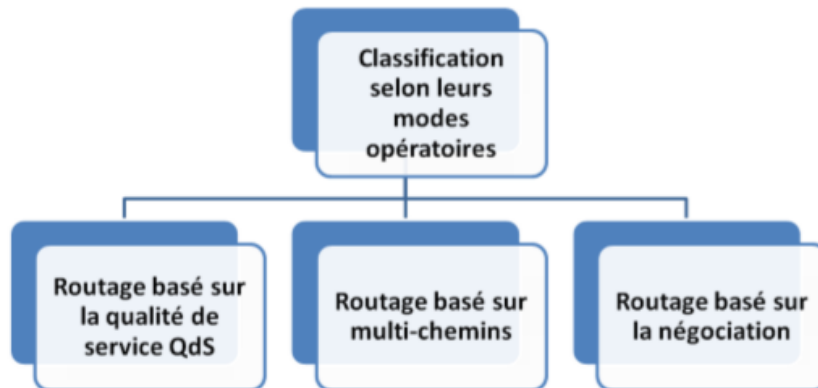


Figure II.3 : Classification selon leurs modes opératoires.[16]

Routage basé sur la qualité de service QoS : Dans les protocoles basés sur la qualité de service, un équilibre entre la consommation d'énergie et la qualité des données doit être trouvé. En particulier, le réseau doit satisfaire certaines métriques qui quantifient la qualité de service (délai (retard), énergie, largeur de bande, etc) lorsqu'il délivre les données à la station de base [21]. Parmi les protocoles qui sont fondés sur cette architecture, nous citons : **SPEED** [16]

Routage basé sur multi-chemins : les protocoles qui utilisent des chemins multiples, au lieu d'un seul chemin, pour améliorer la performance du réseau. La tolérance aux fautes d'un protocole est mesurée par la probabilité d'existence d'un chemin alternatif entre la source et la destination lorsque le chemin primaire a échoué. Parmi les protocoles qui sont fondés sur cette architecture, on cite : **AOMDV** (Ad-hoc On-demand Multipath Distance Vector protocol).[16]

Routage basé sur la négociation : les protocoles de routage basés sur la négociation. En effet, avant de transmettre, les nœuds capteurs négocient entre eux leurs données en échangeant des paquets de signalisation spéciales. Ces paquets permettent de vérifier si les nœuds voisins disposent des mêmes données à transmettre. Cette procédure garantit que seules les informations utiles seront transmises et élimine la redondance des données. Parmi ces protocoles, on cite : **SPIN** (SensorProtocols for Information via Negotiation).[16]

II.2.b.3 Classification selon la manière d'établissement de route (Figure II.4) : Suivant la manière de création et de maintien des chemins pendant le routage nous distinguons trois catégories de protocoles de routages : protocoles proactifs, réactifs ou hybrides. [16]

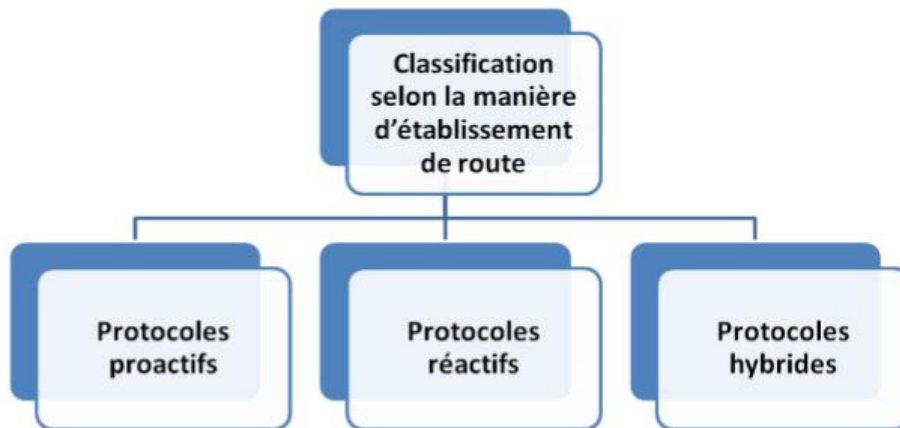


Figure II.4 : Classification selon la manière d'établissement de route. [16]

Protocoles proactifs : son fonctionnement repose sur l'établissement des routes à l'avance. Cela signifie que les routes sont établies avant qu'il y ait demande de transmission. La maintenance des routes est assurée par l'échange périodique d'informations de routage entre les nœuds. Parmi ces protocoles, on cite : **GSR** (Global State Routing) [16].

Protocoles réactifs : il s'appuie sur l'établissement des routes à la demande. Une route n'est calculée que si c'est nécessaire à la communication entre deux nœuds. La durée d'obtention d'une route est souvent plus longue car la recherche d'un chemin vers la destination commence uniquement lorsque la source veut transmettre des données. Parmi ces protocoles, nous citons : **DSR** (Dynamic Source Routing) [16.]

Protocoles hybrides : ils combinent les deux idées : celle des protocoles proactifs et celle des protocoles réactifs. Ils utilisent un protocole proactif pour avoir des informations sur les voisins les plus proches (au maximum les voisins à deux sauts). Au-delà de cette zone prédéfinie, le protocole hybride fait appel aux techniques des protocoles réactifs pour chercher des routes. Parmi ces protocoles, on cite : **ZRP** (Zone Routing Protocol) [16].

II.2.c Approche méthodologique proposée pour le routage hiérarchique dans les RCSF (Figure II.5) :

L'objectif principal du routage hiérarchique est de maintenir la consommation énergétique des différents nœuds capteurs en les impliquant dans une communication multi-sauts au sein d'un cluster particulier et en effectuant l'agrégation et la fusion des données afin de diminuer le nombre de messages transmis à évier (Station de Bas). La formation d'un cluster est dynamique généralement basée sur la réserve d'énergie des capteurs et la proximité du capteur par rapport à la tête du cluster [2]. L'implémentation du protocole passe par trois phases de fonctionnement : une phase d'annonce et de création des clusters, une phase d'ordonnancement et une phase de transmission.

– **Phase d'annonce et création de clusters** : Durant cette phase, la SB annonce le déroulement d'un nouveau round. Les différents nœuds s'auto-élisent pour être des CHs selon une probabilité dite d'élection et un pourcentage établi d'avance de sélection des CHs [5% à 15%]

– **Phase d'ordonnancement** : Une fois les clusters formés, chaque CH passe d'un rôle de simple nœud membre(NM) à un rôle de centre de coordination pour la transmission d'informations au sein de son groupe. En se basant sur la méthode d'ordonnancement de tâche, il met en œuvre le protocole MAC TDMA et assigne à chacun de ses NMs, un intervalle de temps pendant le quelle nœud peut communiquer ses informations. L'ensemble de ces intervalles de temps constituent un Frame, dont la durée diffère selon le nombre de nœuds du cluster.

– **Phase de transmission** : C'est une phase de collecte d'information permettant de se prononcer sur les performances et la robustesse du protocole. En se basant sur la méthode TDMA pour l'accès à la couche MAC, les NMs communiquent leurs données vers les CHs correspondant pendant un laps de temps prédéfinies. Les données perçues au niveau de chaque CH sont agrégées puis transmises directement vers la SB. En dehors de l'intervalle de temps alloué pour la transmission, chaque nœud à la possibilité de se mettre en veille pour économiser ses ressources énergétiques [1].

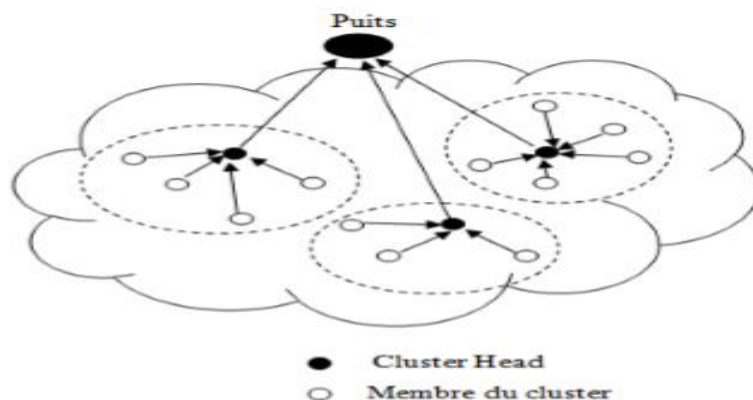


Figure II.5 : Communication hiérarchique d'un RCSF [4]

LEACH est l'une des premières approches de routage hiérarchique pour les réseaux de capteurs. L'idée proposée dans LEACH a été une source d'inspiration pour de nombreux protocoles de routage hiérarchique, bien que certains protocoles aient été développés indépendamment. Nous explorons les protocoles de routage hiérarchique dans cette section [2]. Le routage hiérarchique qui est représenté dans la (**Figure II.6**).

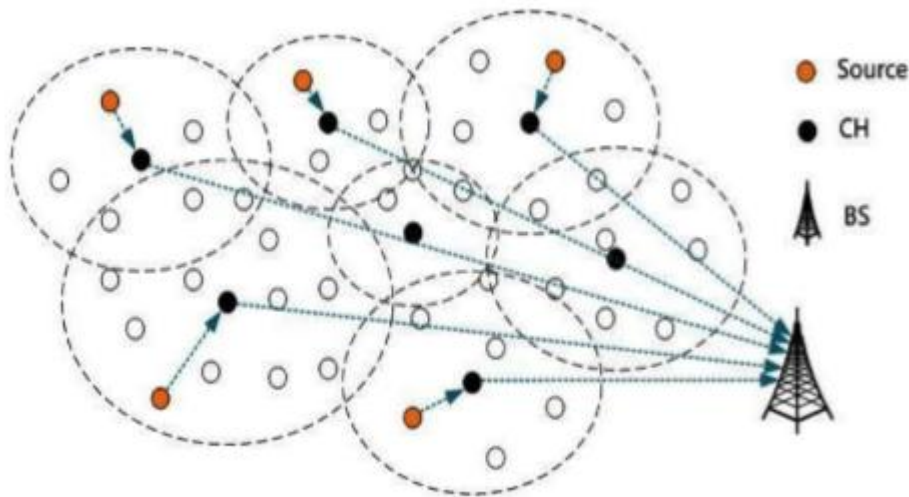


Figure II.6 : Architecture de routage hiérarchique LEACH [4]

II.3 « LEACH » (Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy)

II.3.a Définition et architecture de « LEACH »

Le protocole « LEACH » est l'une des premières approches de routage hiérarchique pour les RCSF. L'idée proposée dans LEACH a été une source d'inspiration pour de nombreux protocoles de routage hiérarchique, bien que certains protocoles aient été développés indépendamment. Nous explorons les protocoles de routage hiérarchique dans cette section [2].

Le « LEACH » (**Figure II.7**) est le premier protocole de routage basé sur un « cluster » ou grappe implémenté pour les RCSF qui partitionne les nœuds en clusters. Il est également considéré comme la base des autres protocoles de routage de cluster.

Dans chaque cluster, un nœud dédié avec des privilèges supplémentaires, appelé Cluster Head (CH) est responsable de la création et de la manipulation « TDMA » et envoi des données

agrégées des nœuds à la station de base où ces données sont nécessaires en utilisant CDMA (accès multiple par répartition en code). Les nœuds restants sont des membres de cluster.

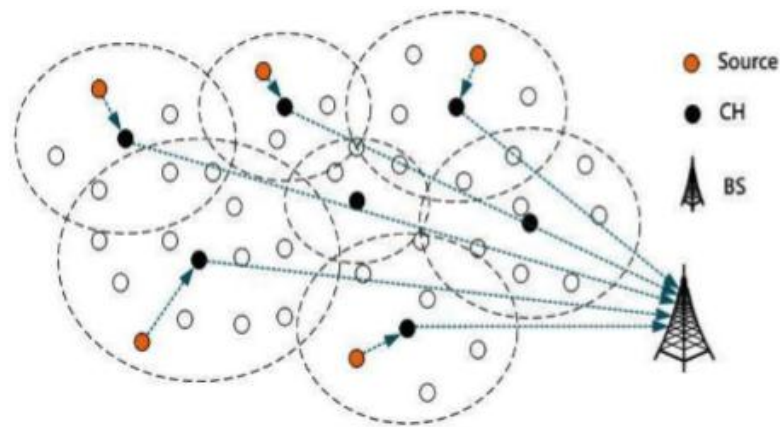


Figure II.7 : Architecture de routage hiérarchique LEACH [4]

II.3.b Fonctionnement de « LEACH » (Figure II.8) :

Le fonctionnement du protocole LEACH est divisé en rounds ou tours. Chaque cycle commence avec la phase d'installation, au cours de laquelle la formation des groupes a lieu et la phase stationnaire pendant laquelle les données sont transférées à la station de base. La phase stable est généralement plus longue que la phase établie. Initialement au début de chaque tour, chaque nœud décide s'il doit être CH ou non. Le nœud qui décide d'être en tête de cluster envoie un message. Tous les autres nœuds autres que le CH maintiendront leur récepteur et décideront quel CH ils doivent rejoindre [3]. Chaque nœud sélectionne une tête de cluster qui lui est proche. Tous les nœuds envoient des messages à leurs têtes de cluster respectives. Le CH basé sur le nombre de nœuds demandeurs crée un TDMA approprié calendrier pour tous les nœuds. Ce n'est que pendant leurs horaires respectifs que les nœuds interagissent avec le CH, sinon les nœuds passeront en mode veille. Les têtes de cluster obtiennent des données de tous les nœuds de son cluster, agrègent les données et les envoient finalement à la station de base.

La phase après que le calendrier a été annoncé, s'appelle la phase stable et la phase avant que le programme soit annoncé, est appelée phase d'installation. Après la phase stable au prochain tour de départ Chaque nœud indépendamment des autres nœuds décide s'il sera sélectionné comme CH ou non. Cette décision prend en compte le moment où le nœud a servi de CH pour la dernière fois (le nœud qui n'a pas été un CH depuis longtemps a plus de probabilité de se choisir que les nœuds qui ont été un CH récemment). Dans la phase de publicité suivante, les

CH informent leur voisinage avec un paquet de publicité qu'ils deviennent des CH. Les nœuds non-CH sélectionnent le paquet de publicité avec la force de signal reçu la plus forte. Dans la phase de configuration de cluster suivante, les nœuds membres informent le contrôleur de domaine qu'ils deviennent membres de ce cluster avec le "paquet de jointure" qui contient leurs identifiants en utilisant CSMA. Après la sous-phase de configuration du cluster, le CH connaît le nombre de nœuds membres et leurs ID. Sur la base de tous les messages reçus dans le cluster, le contrôleur de gestion crée une planification TDMA, sélectionne un code CSMA de manière aléatoire et diffuse la table TDMA aux membres du cluster. Après cette phase d'équilibre commence [2].

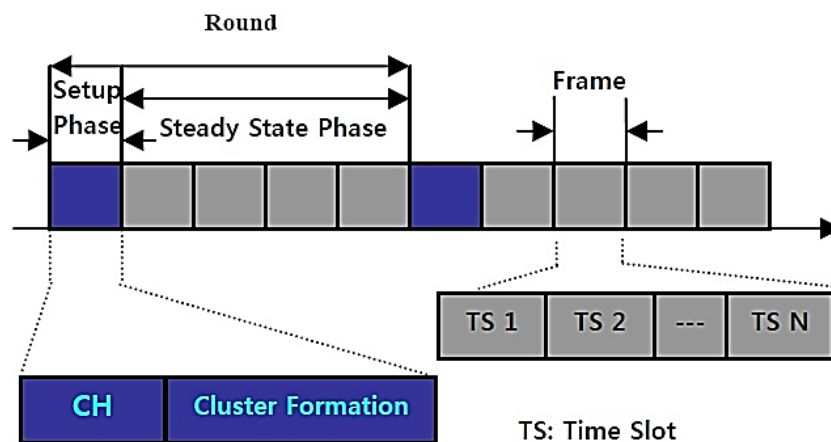


Figure II.8: Time Line operation de LEACH

II.4 « SEP » (Stable Election Protocol) :

Contraintes de consommation d'énergie répartie dans les puits garantis pendant la période stable (Figure II.9) :

Dans cette section, nous proposons une solution d'approche, que nous appelons protocole « SEP » (Stable Election Protocol), qui est basé sur l'énergie initiale des nœuds. Cette solution est plus pratique en application ; elle suppose que chaque nœud connaisse l'énergie totale du réseau puis adapte sa probabilité d'élection pour devenir une tête de cluster en fonction de son énergie restante.

L'approche consiste à attribuer un poids à la *popt* de probabilité optimale. Ce poids doit être égal à l'énergie initiale de chaque nœud divisée par l'énergie initiale du nœud normal. Définissons p_{nrm} comme la probabilité d'élection pondérée pour les nœuds normaux, p_{adv}

la probabilité d'élection pondérée pour les nœuds avancés. Il existe virtuellement $n \times (1 + \alpha \times m)$ nœuds dont l'énergie est égale à l'énergie initiale d'un nœud normal. Afin de maintenir la consommation d'énergie minimum dans chaque cycle au cours d'une époque, le nombre moyen de têtes de cluster par tour par période doit être constant et égal à $n \times popt$. Dans le scénario hétérogène, le nombre moyen de têtes de cluster par tour est égal à $n \times (1 + \alpha \times m) \times p_{nrm}$ (car chaque nœud virtuel a l'énergie initiale d'un nœud normal). Les probabilités pondérées pour les normales et les avancées. Donc cela garantit que chaque nœud normal deviendra une tête de cluster exactement une fois tous les $1 \text{ tour par époque}$, et que le nombre moyen de têtes de cluster qui sont des nœuds normaux par tour est égal à $n \times (1 - m) \times p_{nrm}$. De même, pour les nœuds avancés qui ne sont pas devenus des têtes de cluster au cours des $1 \text{ derniers tours de } padd$ de l'époque, et $T(sadv)$ est le seuil appliqué à une population de $n \times m$ (avancé). Ceci garantit que chaque nœud avancé deviendra une tête de cluster exactement une fois tous les $1 \text{ tours } popt \times 1 + \alpha \times m 1 + \alpha$. Définissons cette période comme une *sous-époque*. Il est clair que chaque époque (désignons cette époque comme «époque hétérogène» dans notre contexte hétérogène) a $1 + \alpha$ *sous-périodes* et chaque nœud avancé devient ainsi une tête de cluster exactement $1 + \alpha$ fois dans un environnement hétérogène époque. Le nombre moyen de têtes de cluster qui sont des nœuds avancés par tour par époque hétérogène (et sous-époque) est égal à $n \times m \times padv$.

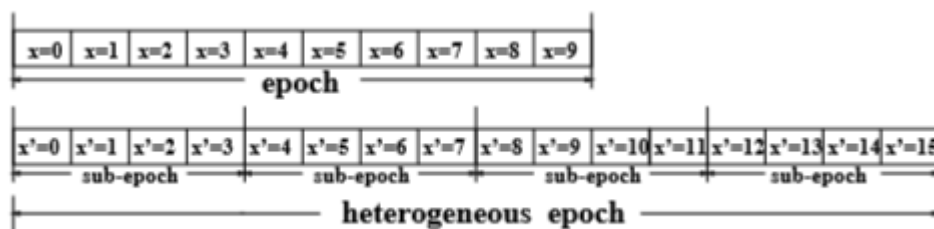


Figure II.9: Time Line operation de SEP

Nous étudions l'impact de l'hétérogénéité des nœuds, en termes d'énergie, dans les réseaux de capteurs sans fil hiérarchiquement groupés. Dans ces réseaux, certains des nœuds deviennent des têtes de cluster, regroupent les données de leurs membres de cluster et les transmettent au collecteur. Nous supposons qu'un pourcentage de la population de nœuds de capteurs est équipé de ressources énergétiques supplémentaires : c'est une source d'hétérogénéité qui peut

résulter du réglage initial ou de l'évolution du fonctionnement du réseau. Nous supposons également que les capteurs sont positionnés et ne sont pas mobiles, les coordonnées du puits et les dimensions du champ de détection sont connues. Nous montrons que le comportement de tels réseaux de capteurs devient très instable dès la mort du premier nœud, notamment en présence d'hétérogénéité de nœud. Les protocoles de clustering classiques supposent que tous les nœuds sont équipés de la même quantité d'énergie et, par conséquent, ils ne peuvent pas profiter pleinement de la présence de l'hétérogénéité des nœuds.

Nous choisissons SEP, un protocole hétérogène pour prolonger l'intervalle de temps avant la mort du premier nœud (que nous appelons période de stabilité), ce qui est crucial pour de nombreuses applications où le retour du réseau de capteurs doit être fiable. La SEP est basé sur des probabilités électorales pondérées de chaque nœud pour devenir une tête de cluster en fonction de l'énergie restante dans chaque nœud.

II.5 Conclusion :

Dans ce chapitre et après avoir présenté une classification des protocoles de routage et en se penchant sur les caractéristiques des différentes classes, il s'avère que les protocoles répondants aux critères établis en début de chapitre sont parmi les protocoles hiérarchiques basés « clustering ».

Le choix d'étude se porte d'abord sur le protocole « LEACH », considéré comme le premier protocole de routage basé sur un cluster pour les RCSF, et qui partitionne les nœuds en clusters. Il est également considéré comme la base des autres protocoles de routage de cluster. Comme extension au « LEACH », notre étude s'intéresse au protocole « SEP » : basé sur des probabilités électorales pondérées de chaque nœud pour devenir une tête de cluster en fonction de l'énergie restante dans chaque nœud.

Cela nous amène à entamer une étude comparative et de dualité « LEACH » - « SEP » en partie simulation (**Chapitre III**), où nous allons essayer de démontrer que le protocole SEP prolonge toujours la période de stabilité (et que le débit moyen en est supérieur) par rapport à celui obtenu en utilisant les protocoles de cluster actuels.

CHAPITRE 3

Simulation de protocole LEACH et SEP

INTRODUCTION GENERAL

CONCLUSION

III.1 Introduction :

Dans ce présent chapitre nous allons comparer par simulation les deux protocoles LEACH et SEP .Nous commençons par justifier le choix du simulateur qui sera utilisé. Puit, en représentons par donner les résultats de la simulation LEACH /SEP sur MATLAB, il s'ensuit relevés de résultats et de graphes avec interprétation, ainsi qu'une étude comparative inter-protocoles. Finalement, le tout clôturé par une conclusion.

III.2 Choix du simulateur :

III.2.a Outils et simulateurs dédiés :

Il existe plusieurs simulateurs, parmi lesquels nous citons :

- i. **NS-3** (Network Simulator) : NS-3 est un simulateur réseau open source à événements discrets. Son noyau et ses modèles sont implémentés en C++, mais avec une interface descriptive Python. L'objectif de NS-3 est de développer un environnement de simulation ouvert pratique pour la recherche dans les réseaux. Les outils nam, ns3-viz associés au simulateur NS permettent la visualisation des animations issues de la simulation telle que le transfert et la taille des paquets échangés, l'état des files d'attentes, etc.
- ii. **OMNET++** : tout comme NS-3, OMNET++ est un simulateur réseau à événements discrets programmé en C++. Il peut être utilisé dans les deux types de réseaux filaires et sans fil.
- iii. **AVRORA** : AVRORA est un simulateur spécialement conçu pour les RCSF sous Java. Il offre une vaste gamme d'outils qui peuvent être utilisés dans la simulation des RCSF. Cependant, ce dernier n'offre pas d'interface graphique.

III.2.b Choix de simulateur Matlab :

Notre choix de simulation se porte sur l'outil MATLAB. Développé par la société MathWorks, MATLAB est optimisé pour résoudre les problèmes scientifiques et techniques. C'est un langage basé sur les matrices, il allie mathématiques, modélisation graphique et programmation.

MATLAB dispose d'une large bibliothèque de fonctions intégrées et pré-écrites avec des notations simples et puissantes pour de nombreuses tâches de calculs communes. Ces

fonctions peuvent être construites dans tous les langages de programmation, MATLAB permet de les retrouver dans un seul endroit.

La simulation du protocole proposé requiert l'utilisation et la manipulation de vecteurs, de tableaux et de matrices.

Le côté évaluation des performances quant à lui, requiert la génération de graphes, et donc l'utilisation des outils de traçage qu'offre MATLAB.

Dans la simulation on utilisera la version R2011b de MATLAB.

III.3 Étapes de la simulation :

III.3.a Modèle de consommation d'énergie :

Le Choix du modèle radio est essentiel car les hypothèses sur le caractéristique radio, y compris la dissipation d'énergie due à l'émission ou à la réception auront un impact direct sur la performance d'un protocole de routage. De ce fait, le modèle radio de consommation d'énergie introduit par W. Heinzelman et al. Est repris dans l'élaboration de la simulation de ce protocole [5].

Lorsque le CH reçoit des données en provenance des membres de son cluster, ce dernier procède à leur agrégation afin de produire un seul signal à émettre vers la SB. Lors de cette opération, la quantité d'énergie consommé est équivalente à E_{Ag} (énergied'agrégation) [5]

III.3.b Déploiement des nœuds capteurs :

Notre environnement de simulation est affecté de (**Figure III.1**) :

- 15 nœuds capteurs, tous de type normal ;
- déployés sur une zone d'intérêt de 200 (m²) de surface.
- La BS est positionnée aux coordonnées (19m, 8m).
- Positionnement des nœuds à travers un tableau en Excel.

```
%Creation of Sensor Network
figure(1);
what= xlsread('d.xlsx','feuille1','A1:B16');
for i=1:1:n
    S(i).xd=what(i,1)*xm;
    XR(i)=S(i).xd;
    S(i).yd=what(i,2)*ym;
    YR(i)=S(i).yd;
    S(i).G=0;
```

Figure III.1 : fixation des nœuds capteur sur programme.

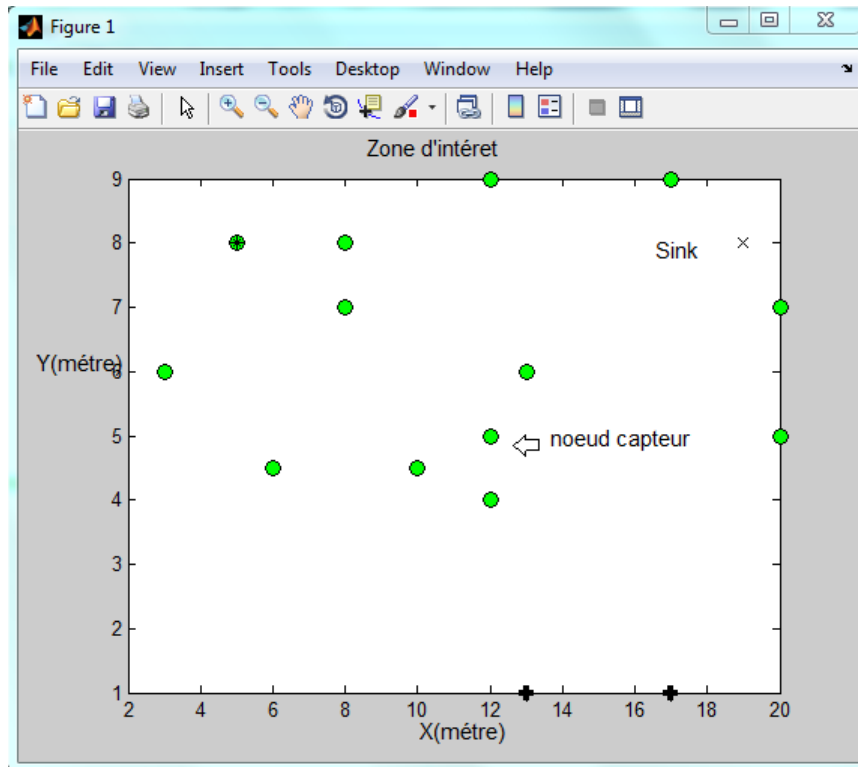


Figure III.2 : Déploiement de 15 nœuds capteurs

III.3.c Paramètres de simulation (Tableau III.1) :

| Paramètre | Valeur | Unité de mesure |
|-----------------------------|---------|-----------------|
| Position de station de base | (19, 8) | mètre |
| Nombre de nœud | 15 | |
| Energie initiale E0 | 0.1 | joule |
| Période T=100 | | |
| LEACH | | |

| | | |
|---|-----|--|
| Probabilité optimale de l'élection des CH | 0.2 | |
| SEP | | |
| Probabilité optimale de l'élection des CH | 0.2 | |

Tableau III.1 : Paramètres de simulation

III.3.d Sélection des CH et Création des clusters :

Pour chaque nœud non-CH, quelques calculs et tests sont réalisés pour identifier le CH le plus proche et les nœuds qui doivent être dans chaque cluster.

Les résultats ainsi obtenus sont illustrés en **Figure III.2**.

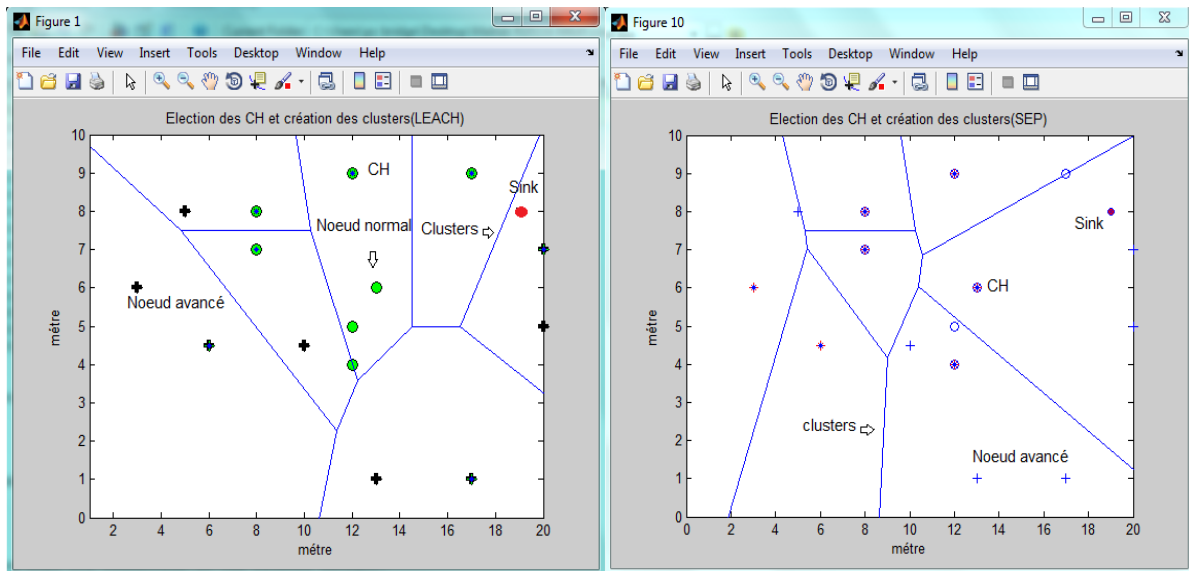


Figure III.3 : Répartition des clusters selon le positionnement des nœuds capteurs fixé pour « LEACH » (à droite) et « SEP » (à gauche)

III.3.e Résultats graphiques – Comparatifs LEACH/SEP :

- i. **Energie Moyenne portée par le nœud capteur en fonction de nombre de tours (« rounds ») [25, 50, 80 et 100] ► Figure III.3 (a, b, c et d)**
- ii. **Nombre de paquets transmis à BS en fonction d'un nombre de tours déterminé (100) ► Figure III.4**

iii. Stabilité du nombre de nœuds morts/vivants pour un nombre de tours donné (100) ► Figure III.5 (a,b) ; puis (9000) ► Figure III.5 (c,d)

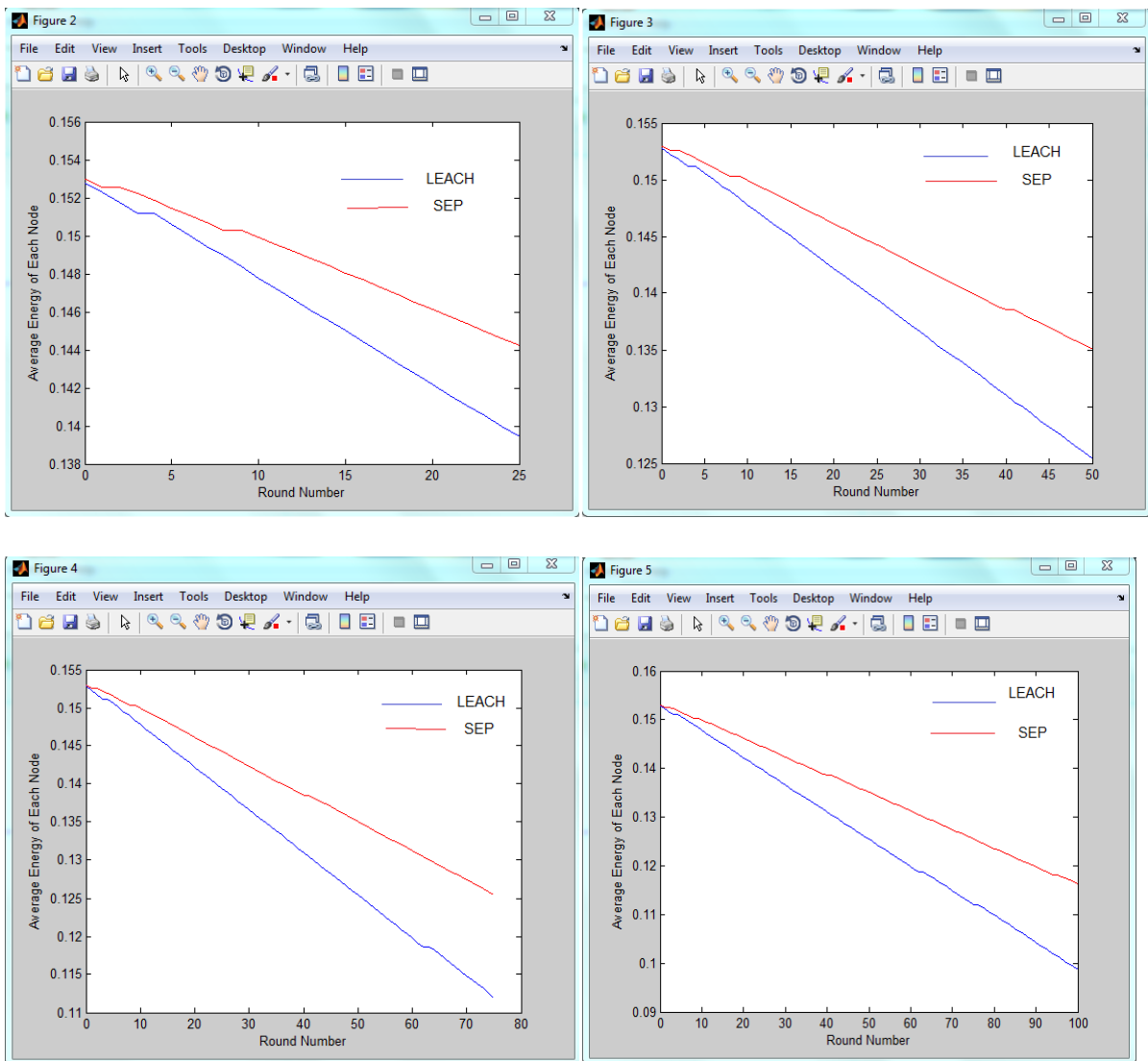


Figure III.4 (a,b,c,d): Variation de l'énergie moyenne des nœuds capteurs en fonctions du nombre de tours « rounds » (a :25, b :50, c :80 et d :100)

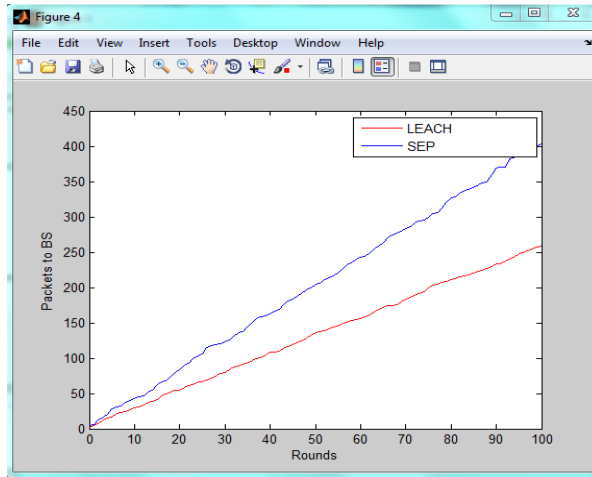


Figure III.5 : Nombre de paquets transmis à BS pour un nombre de tours déterminé (100)

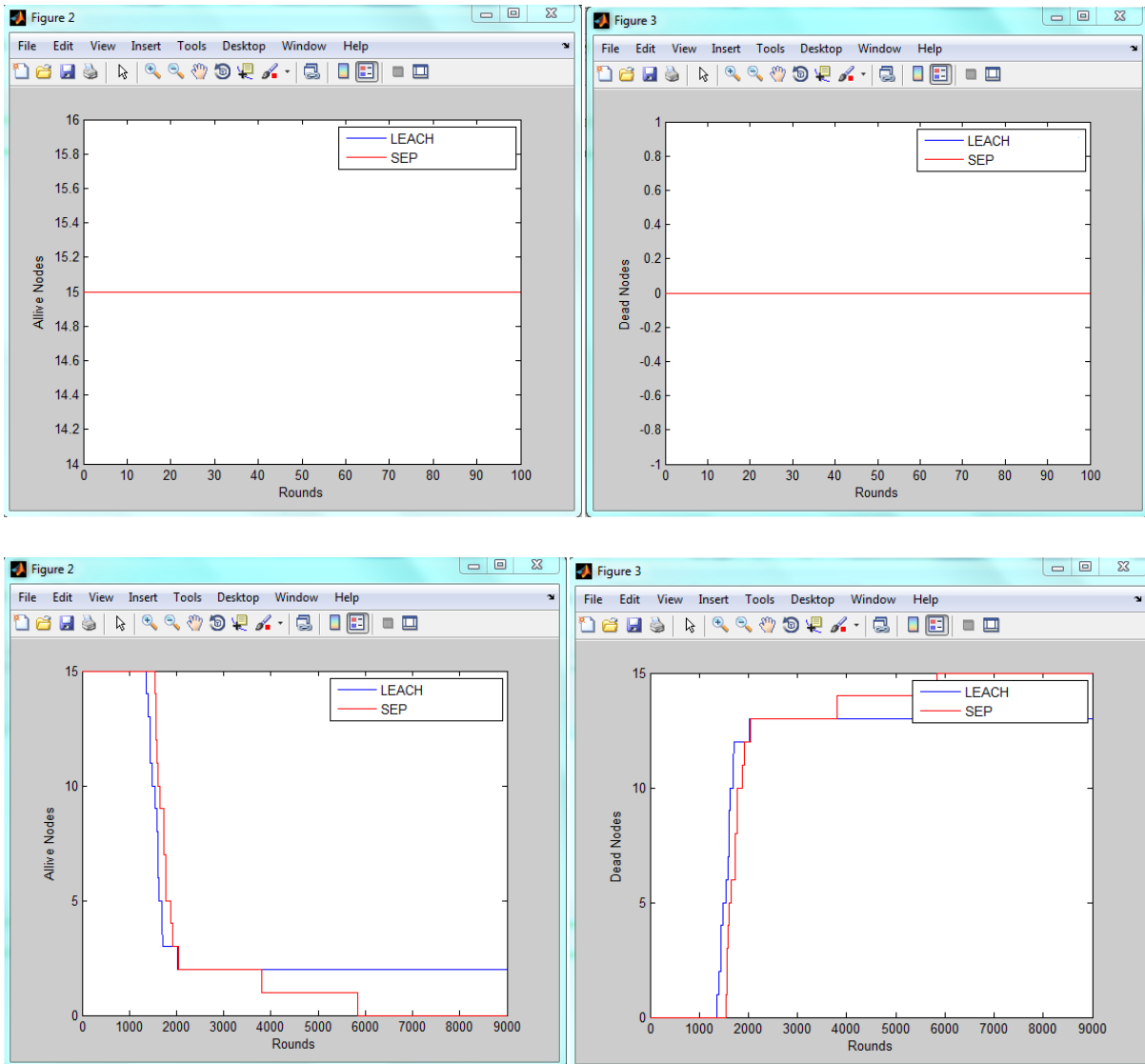


Figure III.6: Stabilité du nombre des nœuds vivants/morts dans le réseau sur nombre de tours déterminé (100) (a,b) puis 9000 (c,d).

Remarque : la stabilité n'est pas perceptible pour un nombre de tours petit (100) puis elle le devient progressivement quand on augmente le nombre de tours sur figure [différence franche pour un nombre de 9000 par exemple].

III.3.f Résultats et Interprétation (Tableau III.2)

| LEACH | SEP |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> • LEACH ne profite pas pleinement de l'énergie supplémentaire des nœuds avancés. • Les nœuds normaux meurent très vite. • Processus d'élection devient instable rapidement. • Le débit est faible [5]. | <ul style="list-style-type: none"> • SEP tire pleinement parti de l'énergie supplémentaire des nœuds avancés. • La région stable augmente de jusqu'à 26% par rapport à LEACH. • Les nœuds avancés suivent le processus de mort des nœuds normaux. • SEP est hétérogène-conscient. • Têtes de Cluster choisis en fonction de l'énergie du nœud par rapport à celle des autres • SEP est évolutif et dynamique. • Aucune connaissance globale requise à chaque tour. |

Tableau III.2 : comparatif des observations/évaluations entre LEACH et SEP

i. LEACH

Nous observons que LEACH tire parti de l'absence de l'hétérogénéité, car le premier nœud meurt après un plus grand nombre de tours.

La durée de vie de réseau est augmentée, mais comme nous le montrerons plus tard, cela ne signifie pas que les nœuds transmettent (c'est-à-dire que le débit peut être bas.)

La raison en est que, après la mort d'un nombre important de nœuds, le processus

d'élection de chef de cluster devient instable et par conséquent, moins de nœuds deviennent des têtes de cluster. C'est encore pire lors des derniers tours, il n'y a que quelques tours où plus qu'un chef de groupe est élu [5].

ii. SEP

Les performances des protocoles SEP et LEACH sont comparées dans le même cadre hétérogène, où l'énergie initiale supplémentaire des nœuds avancés est uniformément répartie sur tous les nœuds dans le champ de capteur. Ce dernier réglage s'avère nécessaire pour fournir le débit le plus élevé lors de la région instable.

SEP profite pleinement de l'hétérogénéité (énergie extra des nœuds avancés) : la région stable est augmentée significativement (de 26%) par rapport à celle de LEACH.

La région instable de SEP est plus courte que celle de LEACH : parce que sous SEP, les nœuds avancés suivent le processus de mort des nœuds normaux, comme la probabilité pondérée de l'élection des têtes de cluster provoque que l'énergie de chaque nœud consommée est proportionnelle à l'énergie initiale du nœud.

Nos observations sur la performance de SEP valent également pour des réseaux à plus petite échelle, où la distance entre un grand pourcentage de capteurs et BS est moins de d_0 .

III.4 Conclusion :

Au regard des tests et évaluations par simulation appliqués aux deux protocoles LEACH et SEP étudiés en dualité, et en étudiant la sensibilité de protocole SEP aux paramètres d'hétérogénéité capturant le déséquilibre énergétique dans le réseau ; il s'avère que le choix est fait sur SEP de sorte que chaque capteur nœud dans un réseau hiérarchique hétérogène à deux niveaux indépendamment choisit lui-même comme une tête de cluster en fonction de son initiale énergie par rapport à celle des autres nœuds. Nous avons trouvé que SEP donne une région de stabilité plus longue pour des valeurs plus élevées d'énergie supplémentaire apportée par des nœuds plus puissants. De plus, notre analyse du SEP n'est pas asymptotique, c'est-à-dire que l'analyse s'applique aussi bien aux petits réseaux.

CONCLUSION

CONCLUSION GENERALE

Nous étudions l'impact de l'hétérogénéité des nœuds, en termes d'énergie, dans les RCSF hiérarchiquement groupés. Dans ces réseaux, certains des nœuds deviennent des têtes de cluster, regroupent les données de leurs membres de cluster et les transmettent au collecteur. Nous supposons qu'un pourcentage de la population de nœuds de capteurs est équipé de ressources énergétiques supplémentaires, c'est une source d'hétérogénéité qui peut résulter du réglage initial ou de l'évolution du fonctionnement du réseau. Nous supposons également que les capteurs sont distribués aléatoirement (uniformément) et ne sont pas mobiles, les coordonnées du puits et les dimensions du champ de détection sont connues. Nous montrons que le comportement de tels réseaux de capteurs devient très instable dès la mort du premier nœud, notamment en présence d'hétérogénéité de nœud. Les protocoles de clustering classiques supposent que tous les nœuds sont équipés de la même quantité d'énergie et, par conséquent, ils ne peuvent pas profiter pleinement de la présence de l'hétérogénéité des nœuds.

Nous prenons SEP, un protocole hétérogène pour prolonger l'intervalle de temps avant la mort du premier nœud (que nous appelons période de stabilité), ce qui est crucial pour de nombreuses applications où le retour du réseau de capteurs doit être fiable. Le SEP est basé sur des probabilités électorales pondérées de chaque nœud pour devenir une tête de cluster en fonction de l'énergie restante dans chaque nœud. Nous montrons par simulation que SEP prolonge toujours la période de stabilité par rapport à (et que le débit moyen est supérieur à) celui obtenu en utilisant les protocoles de cluster actuels (LEACH). Nous concluons en étudiant la sensibilité de notre protocole SEP aux paramètres d'hétérogénéité capturant le déséquilibre énergétique dans le réseau. Nous avons trouvé que SEP donne une région de stabilité plus longue pour des valeurs plus élevées d'énergie supplémentaire apportée par des nœuds plus puissants (toujours par rapport à LEACH).

Référence :

- [1] : Approche de routage hiérarchique basée sur un mécanisme de clustering dans les réseaux de capteurs sans fil Hania Aoudia, Youcef Touati, Arab Ali-Cherif, Patrick Greussay», 9ème édition de la conférence Manifestation des JEunes Chercheurs en Sciences et Technologies de l'Information et de la Communication - MajecSTIC 2012 (2012), Oct 2012, Villeneuve d'Ascq, France. 2012.
- [2] : International Journal of Engineering and Innovative Technology (IJEIT) Volume 3, Issue 3, September 2013, Improved Cluster Head Selection Using Enhanced LEACH Protocol Nikita Sehgal, Gurwinder Kaur Department of Electronics and Communication Engineering Yadavindra College of Engineering (YCoE) Punjabi University Guru Kashi Campus, Talwandi Sabo, District Bathinda, Punjab, India
- [3] : Réduction des clusters singletons dans le protocole LEACH pour les réseaux de capteurs sans fil Yaye M. Sarr, Université de Thiès, Bamba Guèye, Université Cheikh Anta Diop et Cheikh Sarr, Université de Thiès .
- [4] : Université Abderrahmane Mira Bejaia, Faculté des sciences exactes, Département d'informatique, Le protocole LEACH pour les réseaux de capteur sans fil, BOUCHELAGHEM Siham, GHEBBI Sofian, HAMANI Mounir.
- [5] : SEP : A Stable Election Protocol for clustered heterogeneous wireless sensor networks, Georgios Smaragdakis Ibrahim Matta Azer Bestavros Computer Science Department Boston University.
- [6] : Projets inter disciplinaires ou de découverte de la recherche, Mise en oeuvre d'un réseau expérimental de capteurs sans-fil et application domotique, 13 mai 2014, Deroche Anthony, Duhal Thierry.
- [7] : Détection d'intrusions dans les réseaux de capteurs sans fil Kaci Bader, To cite this version: Kaci Bader. Cryptographie et sécurité [cs.CR]. 2010.
- [8] : Mémoire Magister Informatique, Thème : Analyse Graphique pour la surveillance dans un réseau de capteurs sans fils (RCSF), Simulation OMNET++, Par Leila Imane NIAR, Juillet 2012.
- [9] : Mémoire de Master en informatique, Thème : Simulation d'un réseau de capteur sans fil sous Contiki 'La localisation d'un mobile', Université A/Mira de Bejaia.
- [10] : Thèse, Présentée en vue de l'obtention du diplôme de Doctorat 3ème Cycle LMD, Intitulé Prolongation de la Durée de Vie des Batteries dans les Réseaux de Capteurs Sans Fil (RCSF), Option : Réseaux et Sécurité Informatique, Par : Bendjeddou Amira
- [11] : Mémoire, Présenté à L'Ecole Nationale d'Ingénieurs de Sfax, (Département de Génie Informatique et de Mathématiques Appliquées), Thème : Conception et développement d'une application de surveillance de l'environnement à base d'un réseau de capteurs sans fil, Par Naourez HADJ TAIEB
- [12] : Thèse de Doctorat. l'Université de Nantes Sous le label de l'Université Nantes Angers Le Mans Discipline, Soutenue le 6 février 2015, École doctorale Sciences et Technologies de l'Information et Mathématiques (STIM), Aina Andriamampianina Randrianarisaina,

Modélisation De La Consommation D'énergie En Vue De La Conception Conjointe (Matériel/Logiciel) Des Applications Embarquées. Application aux Réseaux de Capteurs sans Fil (WSN).

[13] : SEP : A Stable Election Protocol for clustered heterogeneous wireless sensor networks, Par Ibrahim Matta, Joint work with Georgios Smaragdakis and Azer Bestavros, SANPA 2004 Second International Workshop on Sensor and Actuator Network Protocols and Applications August 22, 2004 .

[14] : Mémoire de Master Recherche En Informatique Option Réseaux et Systèmes Distribués, Thème : Conception d'un protocole de routage hiérarchique pour les réseaux de capteur sans fil, Présenté par : M. GHEBBI Sofiane .

[15] : Mémoire de fin de cycle, En vue de l'obtention du diplôme MASTER en Informatique, Thème : Un protocole de routage à basse consommation d'énergie pour les réseaux de capteurs sans fil, Présenté par : Mr ALLAG Sofiane Mr MANSOUR Abdelaziz, Soutenu le : 30/06/2012.

[16] : Mémoire fin de cycle ,En vue de l'obtention du diplôme de Master Professionnel en informatique, thème : Amélioration et simulation du protocole de routage AORP dans les réseaux de capteurs sans fil ,Présenté par : GUETTAF Dihia ,HADJAL Lydia ,Promotion 2015-2016

[17] : https://www.mathworks.com/?s_tid=gn_logo ,

Lien de code source