REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE YAHIA FARES DE MEDEA



Faculté de Technologie

Mémoire de fin d'études de Master

Filière : Télécommunications.

Spécialité : Systèmes des télécommunications.

Analyse et optimisation du protocole LEACH pour les réseaux de capteurs sans fil

---

Présenté par :

Mr. Tebbal Mohamed Taha

Mr. Berrouila Idriss

Proposé et Dirigé par :

Mr. Guedmani Mohamed

Co-encadré par :

Mr. BAKIR TERKI Othmane

Année universitaire 2019-2020

Remerciements

Nous remmercions ALLAH le tout puissant d’avoir nous donner le courage, la volonté et la patience de mener à terme le présent travail.

Nous tenons à remercier vivement Mr. Guedmani Mohamed et Mr. BAKIR TERKI Othmane**,** d’avoir nous honorer par son encadrement, pour sa disponibilité, ses orientations, ses précieux conseils et ses encouragements qui nous ont permis de mener à bien ce travail. Nos vifs remerciements vont également aux membres de jurés pour l'intérêt qu'ils ont porté à notre travail.

Nous adressons nos sincères remerciements à tous les professeurs, intervenants et toutes les personnes qui par leurs paroles, leurs écrits, leurs conseils et leurs critiques ont guidé nos réflexions et ont accepté de nous rencontrer et de répondre à nos questions durant nos recherches.

Nous remercions nos très chers parents, qui ont toujours été là pour nous. Nous remercions nos frères et sœurs, pour leurs encouragements.

Enfin, Nous remercions mes amis qui ont toujours été là pour nous. Leur soutien inconditionnel et leurs encouragements ont été d’une grande aide.

À tous ces intervenants, nous présenterons nos remerciements, notre respect et notre gratitude.

Dédicaces

Je dédie ce travail

à mes chers parents qui se sont sacrifiés durant tout mon parcours estudiantin pour leurs encouragements pour leur volonté et leur désir de me voir achever

mes études brillamment sans oublier ma sœur unique ainsi qu'mes grand parentes

ainsi qu'à mes frères **abd el hake** et **yassmin**

et à chaqu'un de la famille de **Berrouila** et **chablaoui**

à tous mes enseignants qui ont contribué à ma formation depuis mes débuts au primaire jusqu'à ce jour

à mes amis **youness** et **hasane.azize,rachid,ahmed** et le meure amis de moi **nour eddine rabi yrhmo** Et bien sûr à mon binôme **tebbal mohamed**

Pour la réalisation de ce mémoire

et son soutien et ses bénéfiques interventions

Ainsi à tous ceux qui ont été pour moi d'une aide précieuse à la réalisation de ce mémoire

A l'ensemble des étudiants faisant partie de la branche télécommunication

enfin, à tous ceux que j'aime, et qui m'aiment.

Idriss

Dédicaces

A mes chers parents, pour tous leurs sacrifices, leur amour, leur tendresse, leur soutien et leurs prières tout au long de mes études,

A mes chères sœurs …… pour leurs encouragements permanents, et leur soutien moral,

A mes chers frères, ……, pour leur appui et leur encouragement,

A toute ma famille pour leur soutien tout au long de mon parcours universitaire,

Que ce travail soit l'accomplissement de vos vœux tant allégués, et le fuit de votre soutien infaillible,

Merci d'être toujours là pour moi.

Mohamed Taha

ملخص

أدت التطورات الحديثة في مجال الاتصالات اللاسلكية والالكترونيات الى تطوير أجهزة استشعار صغيرة الحجم؛ قليلة التكلفة ومتعددة المهام وبالتالي ظهور شبكات الاستشعار اللاسلكية RCSF حيث تستخدم هذه الأخيرة لمراقبة مختلف الظواهر في الأماكن التي يصعب التدخل البشري فيها. تتميز أجهزة الاستشعار بانتشارها على نطاق واسع دون أي صيانة حيث ان لكل عقدة استشعار مصدر طاقة محدود وهذا ما يشكل تحدي بالنسبة للباحثين لمحاولة تحسين استهلاك الطاقة وتمديد عمر الشبكة لأطول فترة ممكنة. في عملنا هذا سنعرض لكم بروتوكول LEACH الذي يعد من اهم البروتوكولات المساهمة في الحفاظ على الطاقة، وبروتوكول I-LEACH الذي تم اقتراحه من طرفنا كنموذج محسن للبروتوكول الآنف ذكره وختاما سيتم القيام بدراسة تحليلية مقارنتية بين هذين الأخيرين بواسطة برنامج MATLAB وعرض النتائج.

الكلمات المفتاحية : MATLAB, I-LEACH ,LEACH , RCSF

Résumé

Les progrès récents de la télécommunication sans fil et de l'électronique ont conduit au développement de capteurs de petite taille ; faible coût et multi-tâches, d'où l'émergence des réseaux de capteurs sans fil RCSF, ces derniers sont utilisés pour surveiller divers phénomènes dans les lieux difficiles pour l'intervention humaine. Les capteurs sont caractérisés par leur large diffusion sans la nécessité d'aucune maintenance, car chaque nœud de capteur a une source d'énergie limitée, et c'est ce qui pose un défi pour les chercheurs en essayant d'améliorer la consommation d'énergie et de prolonger la durée du vie du réseaux le plus longtemps possible. Dans notre travail, nous vous présenterons le protocole LEACH, qui est l'un des protocoles les plus importants dans la contribution a la conservation de l'énergie, et le protocole I-LEACH que nous avons proposé comme modèle amélioré à partir du protocole précite. Enfin, une étude analytique comparative sera menée entre ces deux protocoles par le logiciel Matlab avec la présentation des résultats.

Mots clés : MATLAB, I-LEACH ,LEACH , RCSF

Abstract

Recent advances in wireless telecommunications and electronics have led to the development of small, low-cost, multi-tasking sensors, hence the emergence of WSN wireless sensor networks, which are used to monitor various phenomena in places difficult for human intervention. The sensors are characterised by their wide distribution without the need for maintenance, as each sensor node has a limited power source, which poses a challenge for researchers trying to improve energy consumption and extend the life of the network as long as possible. In our work, we will present the LEACH protocol, which is one of the most important protocols in contributing to energy conservation, and the I-LEACH protocol that we have proposed as an improved model based on the aforementioned protocol. Finally, a comparative analytical study will be carried out between these two protocols using the Matlab .software with the presentation of the results.

Keywords : MATLAB, I-LEACH ,LEACH , WSN

Table des matières

Liste des figures.....I

Liste des tableaux.....II

Liste d'abriviation.....III

Introduction générale.....1

Chapitre I : Généralités sur les réseaux capteurs sans fil

1. Introduction 3
2. Description d'un réseau de capteurs sans fil.....3
   2.1 Qu'est-ce qu'un noeud capteur ?.....4
3. Réseau de capteur sans fils.....5
   3.1 Définition d'un RCSF.....5
   3.2 Composants d'un RCSF 6
4. Architecture de capteur sans fil 7
5. Architecture software.....9
6. Type de capteurs.....9
7. Caractéristiques spécifiques des réseaux de capteurs sans fil.....10
   7.1Caractéristiques liées aux nœuds capteurs.....10
      7.1.1Durée de vie du réseau:..... 11
      7.1.2 Ressources limitées:..... 11
      7.1.3 Bande passante: 11
      7.1.4 Sécurité: 11
      7.2.5 Qualité de Service:..... 11
      7.2.6 Média du transport:..... 11
      7.2.7 Densité: 12
      7.2.8 Topologie dynamique 12
      7.2.9 La topologie du réseau 12
      7.2.10 Déploiement 13
      7.2.11 La tolérance aux pannes..... 13
      7.2.12 La consommation d'énergie 13
8. Communication dans les réseaux de capteurs sans fil.....13
9. Architecture de communication basée sur le modèle OSI.....14
10. Technologie de la communication dans les RCSF.....15
   10.1 Les réseaux Ad hoc 16
   10. 2 Défis des RCSFs 16
      10.2.1 Conception des capteurs 17

10.2.2 Protocoles de communication 17
10.2.3 Passage à l'échelle 17
10.2.4 Préservation de l'énergie et optimisation 17
11. Applications des réseaux de capteurs sans fil 18
11.1Applications militaires 18
11.3 Applications environnementales 19
11.4 Applications médicales 20
11.5 Applications industrielles 21
11.6 Applications commerciales 21
11.7 Applications liées a la sécurité 22
11.8 Applications de L'agriculture de pointe 22
12. Sécurité dans les réseaux de capteurs sans fil 23
12.1 Les besoins de sécurité dans un réseau de capteurs sans fil 23
12.2 Attaques 23
12.2.1 Attaques de déni de service "Denial of Service attacks » 23
12.2.2 Au niveau de la couche physique 24
12.2.3 Au niveau de la couche liaison 24
12.2.4 Au niveau de la couche réseau 24
12.2.5 Au niveau de la couche transport 24
12.2.6 Attaques sur les protocoles de routage 24
12.2.7 Acheminement sélectif « Selective forwarding » 24
12.2.8« Sybil Attack » : 24
12.2.9 Attaque de trou de ver « wormholes » 24
12.2.10 Les attaques physiques 24
13. Conclusion 25

Chapitre II : approches de routage hiérarchiques pour les RCSFs

1. Introduction 27
2. Protocoles de routage 27
2.1 Routage dans les RCSFs 27
2.2 les approaches de routage hiérarchiques pour les RCSFs 28
2.2.1 Classification selon la structure du réseau 28
2.2.1.1 Protocoles de routage à plat 28
2.2.1.2 Protocoles de routage hiérarchique 29
2.2.1.3 Les protocoles géographiques 31
2.2.2 Classification selon les fonctions des protocoles 32
2.2.3 Classification selon l'établissement des routes 34

3. Protocole LEACH (Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy) 35
3.1 Phase de construction (set-up phase) 36
3.1.1 Assignation de TDMA 37
3.2 Phase de communication (steady-state phase) 37
3.2.2 Interférences entre clusters 38
4.Aventages et inconvénients de protocole LEACH 38
4.1 Avantages 38
4.2 Inconvénients 39
5. LEACH hétérogène 39
5.1 Stratégie hétérogène 40
5.2 Hiérarchie des clusters 40
5.3 Modèle d'énergie 40
6. algorithme proposé 42
7. Conclusion 42

Chapitre III : Etude comparative entre les deux protocoles LEACH et I-LEACH

1.Intoduction 45
2.Généralités sur la simulation 45
2.1 Définition 45
2.2 Types de simulation 45
2.2.1 Systèmes de simulation discrète 46
2.2.2 Systèmes de simulation continue 46
3. Le langage MATLAB 46
4. la préparation de la simulation 46
5. LES MESURES DE PERFORMANCE 47
6. RÉSULTATS DE LA SIMULATION 47
6.1 Résultat et discussion 48
6.1.1 Résultats de protocole LEACH 48
6.1.1.3 Les paquets envoiyée au station de base 50
6.1.2 Résultats de protocole I-LEACH 51
7. Comparaison entre LEACH et I-LEACH 54
7.1 Comparaison entre les noeuds vivats et morts 55
7.2 Comparaison entre l'énergie consommé et l'énergie résiduelle 56
7.3 Comparaison entre les paquets envoiyée au station de base 57
8. Conclusion 57

Conclusion Générale 59
Bibliographie 60

Liste des figures

Figure I.1 : Exemple d'un réseau de capteurs 5
Figure I.2: Exemples des noeuds capteurs 6
Figure I.3: Les composants d'un nœud capteur 7
Figure I.4: Types de capteurs 10
Figure I.5: Pile protocolaire dans les RCSF 14
Figure I.6: Réseaux Ad Hoc 16
Figure I.7: Les réseaux de capteurs: Application militaire 19
Figure I.8: Application environnementale 20
Figure I.9: Un réseau de capteurs dans le domaine médical 21

Figure II.1: Classification des protocoles de routage selon la structure de réseau 28
Figure II.2: Topologie plate (Flat) 29
Figure II.3: Routage hiérarchique 30
Figure II.4: Topologie basée sur localisation 31
Figure II.5: Formation de clusters dans LEACH 36
Figure II.6: Protocole LEACH avec deux tours différents 37
Figure II.7: Les différentes phases de LEACH 38
Figure II.8: Modèle d'énergie 41

Figure III.1: Déploiement aléatoire des nœuds de capteurs (LEACH homogéne) 48
Figure III.2: le nombre des noeuds vivants 49
Figure III.3: le nombre des noeuds morts 49
Figure III.4: L'énergie consommé par rapport nombre de tours 50
Figure III.5: L'énergie résiduelle par rapport nombre de tours 50
Figure III.6: les paquets envoyé au BS 50
Figure III.7: Déploiement aléatoire des nœuds de capteurs (I-LEACH) 51
Figure III.8: le nombre des noeuds morts (I-LEACH) 52
Figure III.9: le nombre des noeuds vivants (I-LEACH) 52
Figure III.10:L'énergie consommé par rapport nombre de tours(I-LEACH) 53
Figure III.11: L'énergie consommé par rapport nombre de tours(I-LEACH) 53
Figure III.12: Le nombre de paquets envoyé au BS (I-LEACH) 54
Figure III.13: Réseau avec tout les noeuds morts 54
Figure III.14: Comparaison des noeuds vivants 55
Figure III.15: comparaison des noeuds morts 55
Figure III.16: Comparison d'énergie consommé 56
Figure III.17: Comparaison d'énergie résiduelle 56
Figure III.18: Comparaison des paquets envoyés au BS 57

Liste des tableaux

Tableau III.1: les paramètres des simulations..... 48

Liste d'abréviation

ADC : Analog to Digital Converters.

BS : Base Station

CAN : Canvertiseur Analogique Numerique

CDMA : Code-Division Multiple Access.

CH : Cluster Head

CM : Cluster Member

DD : Direct Difusion

GAF : Geographic Adaptive Fidelity

GEAR : Geographic and Energy-Aware Routing

GPS : Global Positioning System

GSM : Global System for Mobile Communications.

I-LEACH : Improved-Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy

IP : Internet protocol

LEACH : Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy

LEACH-C : Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy - Centralise

LEACH-F : Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy-Fuzzy

MAC : Media Access Control.

MAN : Mobile Ad hoc Networks

MATLAB : Matrix Laboratory

OSI : Open Systems Interconnection

QdS : Qalite de Service

QOS : Qalite Of Service

RAM : Random Access Memory

RCSF : Réseaux Capteurs Sans Fil

RF: Radio Frequency.

SPEED : A Stateless Protocol for Real Time Communication in Senor Networks.

SPIN : Sensor Protocols For Information via Negotiation.

TCP/IP : Transmission Control Protocol / Internet protocol

TDMA : Time-Division Multiple Access.

TS : Time Slot

Wifi : Wireless Fidélité

WSN : Wireless Sensor Network

Introduction générale

Le réseau de capteurs sans fil (WSN) se compose de capteurs autonomes qui peuvent être conçus pour surveiller les conditions physiques et écologiques comme la température, le poids, etc. Les réseaux de capteurs sans fil sont composés de centaines, voire d'un grand nombre de nœuds pour effectuer la tâche en question. Le nœud de capteur est un tout petit gadget qui comprend généralement trois segments nécessaires à la détection des conditions physiques : le sous-système de traitement, le sous-système de détection et le sous-système de correspondance à distance. Les conditions environnementales tendent à être détectées par les nœuds de capteurs où les données sont collectées, traitées et envoyées à la station de base (système de support central). Les réseaux de capteurs sont largement déployés dans les secteurs industriels, médicaux, agricoles, militaires et écologiques. La communication entre le système de support central et les autres nœuds s'effectue sans fil. Le réseau comprend des nœuds de capteurs qui communiquent généralement avec d'autres nœuds par des liaisons sans fil. Les nœuds de capteurs sont déployés en grand nombre et opèrent dans la zone d'intérêt. Dans les réseaux de capteurs sans fil (WSN), le nœud de capteur transmet les informations collectées et coopère également avec d'autres nœuds de capteurs pour remplir des fonctions spéciales de routage des données dans le réseau. Bien que de nombreux travaux aient été réalisés dans les modèles de regroupement et d'agrégation de données, leurs algorithmes d'efficacité énergétique présentent toujours des limites. Le protocole proposé est spécialement conçu pour les réseaux à contrainte énergétique car il prend en compte l'hétérogénéité des différents nœuds. Les nœuds de cluster sont classés en fonction des attributs qu'ils portent, comme la mémoire, le processeur, etc. Cette approche de prise de décision basée sur l'hétérogénéité est suivie dans cet mémoire.[1]

Notre travail est organisé comme suit: dans le première chapitre, nous donnerons un aperçu des réseaux de capteurs sans fil, et dans le deuxième chapitre, tout d'abord, nous examinerons les différents protocoles de routage hiérarchique et leurs classification, ensuite, nous parlerons du protocole LEACH et de certaine de ses caractéristique théorique telle que l'homogénéité et l' hétérogénéité, et enfin, nous présenterons les caractéristique du protocole que nous proposons ,et dans le dernier chapitre nous ferons une étude comparative entre les protocoles LEACH et I-LEACH et nous montrerons les résultats.

Enfin, L'utilisation du protocole I-LEACH permet d'économiser l'énergie des nœuds déployés, ce qui augmente la durée de vie globale du réseau.

Chapitre I :

Géneralités sur les réseaux de capteurs Sans fil

CHAPITRE I : Généralités sur les réseaux de capteurs sans fil

1. Introduction

Les réseaux de capteurs sans fil (RCSF ou WSN Wireless Sensor Network) sont devenus de plus en plus populaires grâce aux grandes avancées dans le domaine de la microélectronique qui ont réduit le coût de fabrication des nœuds de capteurs d'une manière considérable. Ces réseaux ont montré leur efficacité dans le suivi et le contrôle à distance de l'environnement physique avec une meilleure précision.

Actuellement ils sont exploités pour différents domaines d'applications tels l'observation de l'environnement naturel (pollution, inondation,..etc.), le suivi d'écosystèmes (surveillance de niches d'oiseaux, croissance des plantes,…etc.), le contrôle militaire (télésurveillance de champs de bataille, détection d'ennemis,…etc.), l'analyse biomédicale et la surveillance médicale (détection de cancer, rétine artificielle, taux de glucose, diabètes,…etc.).Cependant la mise en place d'un tel système pose de nombreux problèmes parmi lesquels le problème du maintien de la connectivité du réseau, la collecte des données ou encore le routage de l'information vers les stations de traitement de l'information. D'autres contraintes intrinsèques apparaissent au niveau des noeuds capteurs et au niveau du réseau formé par ces noeuds capteurs.

Notre objectif dans ce chapitre est de donner une vue générale sur les réseaux de capteurs, leurs caractéristiques spécifiques, leurs types d'applications et les différentes architectures de collecte de données déjà exploitées dans des projets célèbres. Pour finir nous présentons l'architecture de collecte[1]

2. Description d'un réseau de capteurs sans fil

Un réseau de capteurs sans fil est un ensemble de nœuds capteurs communicant en liaison sans fil. Ces nœuds capteurs disposent d'une unité de stockage, d'une unité de traitement de données, d'unités de captage diverses, d'une batterie d'alimentation et d'une interface de communication radio.

Ces nœuds capteurs sont capables de s'auto-organiser en sous-réseaux distribués pour collecter les informations du 10 monde physique sur lequel ils sont déployés. Les données

collectées sont ensuite transmises à une station de traitement de données appelée "station de base" (BS : Base Station).

Ce transfert des données collectées, de manière périodique ou évènementielle, à la station de base peut être fait directement ou à travers un ou plusieurs nœuds spéciaux fixes ou mobiles appelés "puits" (Sink**).**[1]

2.1 Qu'est-ce qu'un noeud capteur ?

Un noeud capteur sans fil est un petit dispositif électronique doté d'un ou plusieurs capteurs qui sont capables de mesurer une valeur physique environnementale (température, lumière, pression, etc.) ou physiologique (glycémie, tension, etc.), et de la communiquer à un centre de contrôle via une station de base.

Un capteur est capable de transformer une grandeur physique observée (température, humidité, etc.) en une grandeur utilisable (intensité électrique, position d'un flotteur).

Il possède au moins un transducteur dont le rôle est de convertir une grandeur physique en une autre tel qu'ADC1.

Par ailleurs, grâce aux avancées technologiques, principalement dans le domaine de la miniaturisation, les capteurs sont devenus des éléments de très petite taille.

Ils sont ainsi dotés de moyens leur permettant : de stocker les résultats de leurs observations, d'effectuer un certain nombre de traitements sur ces résultats et de les transmettre au monde réel via une communication sans fil.[2]

3. Réseau de capteur sans fils

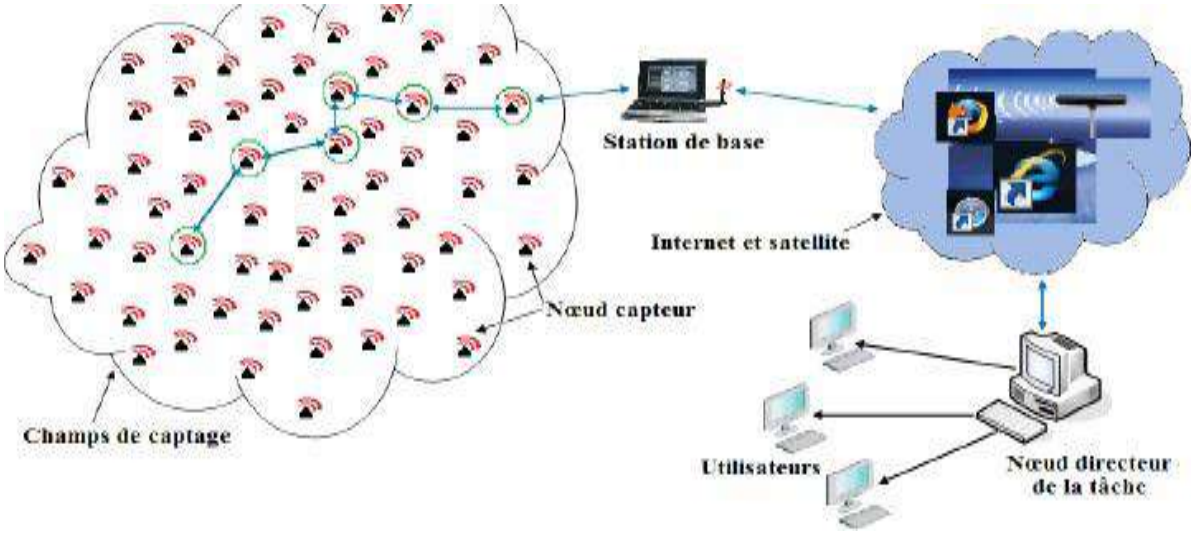


Figure I.1 : Exemple d'un réseau de capteurs [3]

3.1 Définition d'un RCSF

Un réseau de capteur sans fil – Wireless Sensor Networks (WSN) – est considéré comme un type spécial de réseau ad hoc (où l'infrastructure de communication et l'administration centralisée sont absentes).

Les nœuds de ce type de réseaux consistent en un grand nombre de micro-capteurs capables de récolter et de transmettre des données environnementales d'une manière autonome. La position de ces nœuds n'est pas obligatoirement prédéterminée.

Ils sont dispersés aléatoirement à travers une zone géographique, appelée champ de captage, qui définit le terrain d'intérêt pour le phénomène capté. Les données captées sont acheminées grâce à un routage multi-saut à un nœud considéré comme un "point de collecte", appelé nœud puits (ou sink). Ce dernier peut être connecté à l'utilisateur du réseau via Internet ou un satellite. Ainsi, l'usager peut adresser des requêtes aux autres nœuds du réseau, précisant le type de données requises et récolter les données environnementales captées par le biais du nœud puits.[3]

3.2 Composants d'un RCSF

Les réseaux de capteurs sans fil se composent de quelques éléments principaux :

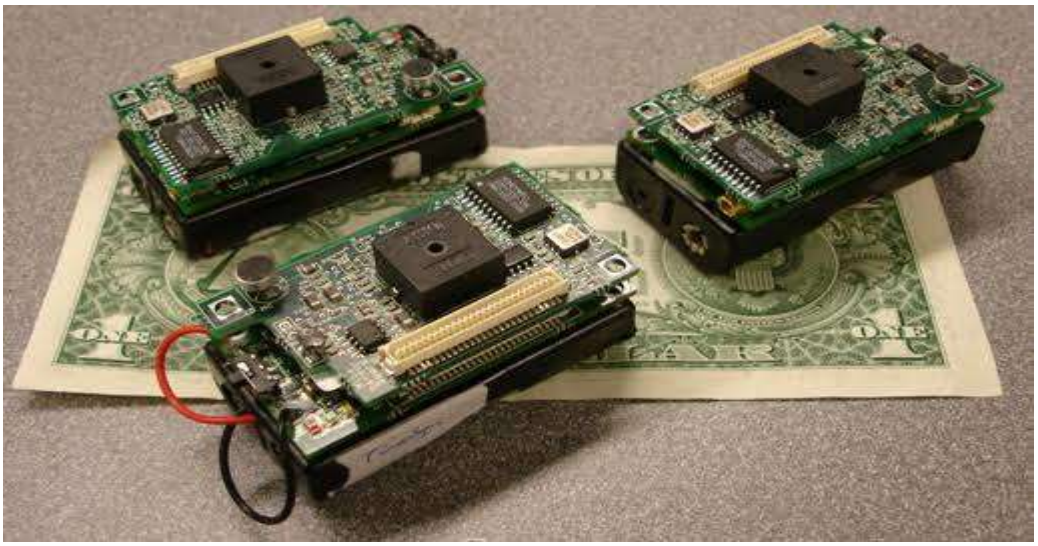


Figure 0.2: Exemples des noeuds capteurs [4]

- **Administrateur**: représente la personne qui est responsable sur le réseau, il gère le réseau (Maintenance, sécurité …etc.), mentionne les divers évènements signalés par le réseau.
- **Puits (Sink):** représente le trait d'union entre l'administration et le champ de captage, il fonctionne d'une manière autonome et effectue plusieurs tâches simultanément à l'échange d'informations.

Ce dernier est un point de collecte de données capturées, il peut communiquer les données collectées à l'utilisateur final à travers un réseau de communication, éventuellement l'internet ou un satellite.

- **Les nœuds (Capteurs/ Sensors):**Un capteur est un dispositif autonome capable d'acquérir les données sur son environnement immédiat, les traiter et les communiquer.
- **Champ de captage**: C'est l'endroit où les capteurs doivent être déployés, il peut être forêt, frontière, administration ou même le corps humain…etc.[4]

4. Architecture de capteur sans fil

Un nœud capteur contient quatre unités de base : l'unité de captage, l'unité de traitement, l'unité de communication, et l'unité de contrôle d'énergie. Il peut contenir également, suivant son domaine d'application, des modules supplémentaires tels qu'un système de localisation (GPS), ou bien un système générateur d'énergie (cellule solaire), où un module de mobilité.[5]

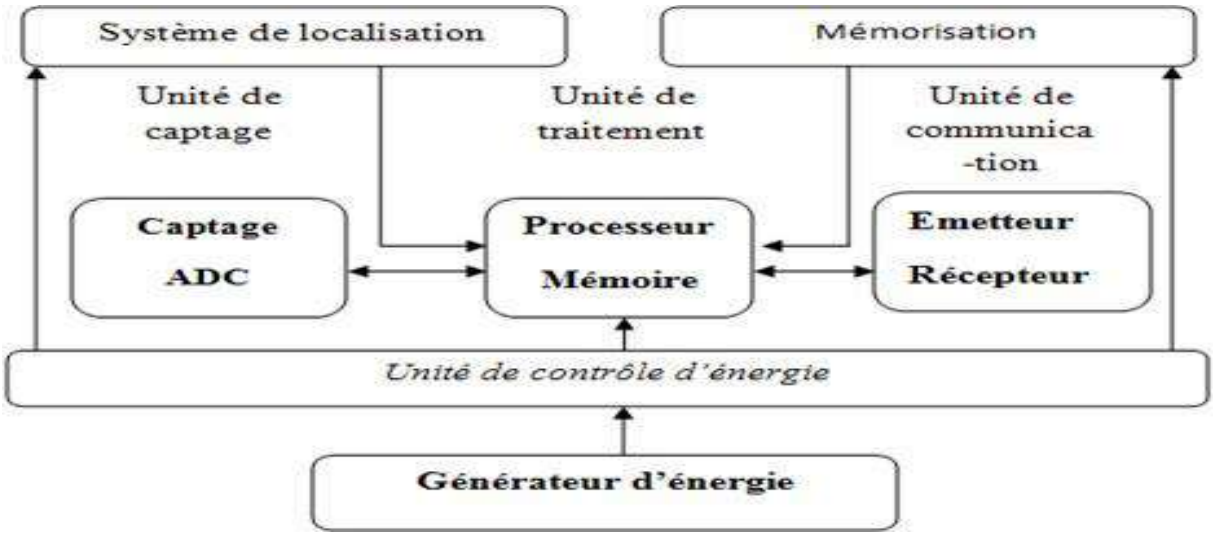


Figure I.3: Les composants d'un nœud capteur [5]

- **Unité de capture (Sensing unit) :** Elle permet de capter et de collecter des informations, elle est composée de deux sous unites:

  D'un capteur, et d'un convertisseur analogique-numérique (CAN) qui les transformes en signaux numériques et les transmet à l'unité de traitement.[6]

- **Unité de traitement :**L'unité de traitement est composée de deux interfaces : une interface pour l'unité de captage et une interface pour l'unité de transmission. Elle est dotée également d'un processeur et d'un système d'exploitation spécifique, elle acquiert les informations en provenance de l'unité de capture et les envoie a l'unité de transmission[7]

- **L'unité de transmission** : Cette unité gère la connexion du nœud au réseau en effectuant toutes les émissions et les réceptions de données sur un medium[8]

- **Unité de Communication :** Elle effectue toutes les émissions et réceptions des données sur un médium « sans-fil ». Elle peut être de type optique (comme dans les nœuds Smart Dust), ou de type radiofréquence.

  Les communications de type optique sont robustes vis-à-vis des interférences électriques. Néanmoins, ne pouvant pas établir de liaisons à travers des obstacles, elles présentent l'inconvénient d'exiger une ligne de vue permanente entre les entités communicantes.

  Les unités de communication de type radiofréquence comprennent des circuits de modulation, démodulation, filtrage et multiplexage ; ceci implique une augmentation de la complexité et du coût de production du micro-capteur.

  Concevoir des unités de communication de type radiofréquence avec une faible consommation d'énergie est un défi car pour qu'un nœud ait une portée de Communication suffisamment grande, il est nécessaire d'utiliser un signal assez puissant et donc une énergie consommée importante. L'alternative consistant à utiliser de longues antennes n'est pas possible à cause de la taille réduite des micro-capteurs.[4]

- **Unité de contrôle d'énergie :**L'unité source d'_énergie d'un capteur peut être une pile ou une batterie qui fournit _a toutes les autres unités, l'_énergie nécessaire pour faire ses taches. Cependant, Et en conséquence de sa taille réduite, la ressource _énergétique dont il dispose est limitée et est généralement irremplaçable. Des techniques alternatives d'alimentation (comme solaire, vibration, etc.) ont _été proposées dans la littérature.
  Ces techniques supposent que les nœuds capteurs sont _équipes de dispositifs qui permettront de collecteur l'_énergie de leur environnement.

  Toutefois, ces techniques ne garantissent pas une alimentation en continu des nœuds capteurs et restent très dépendantes de nombreux facteurs environnement-taux mais peuvent être utilisées en complément _a toutes les solutions des Récifs qui économisent de l'énergie.[7]

- **Le système de localisation géographique** : Dans plusieurs applications, les tâches de d´détection et les techniques de routage ont besoin de connaitre la localisation géographique

d'un nœud. Ainsi, il est commun pour qu'un nœud soit ´équipe d'un Système de localisation géographique. Ce système peut se composer d'un module de GPS pour un nœud de haut niveau ou bien d'un module de software qui implémente des algorithmes de localisation qui fournissent les informations sur l'emplacement du nœud par des calculs distribues.[8]

5. Architecture software

En plus des plateformes matérielles et des standards, plusieurs plateformes logicielles ont été également développées spécifiquement pour les réseaux de capteurs sans fil. La plateforme la plus répandue est le **TinyOS,** qui est un système d'exploitation open source conçu pour les RCSF .

En plus de TinyOS, plusieurs plateformes logiciel et systèmes d'exploitation ont été introduits récemment, comme **LiteOS** ou **CONTIKI** par exemple.

Tandis que plusieurs systèmes d'exploitation avec des capacités supplémentaires sont devenus disponibles, TinyOS est toujours employé couramment dans la recherche sur les RCSF, une des raisons principales de cette popularité est le vaste espace de code établi dans toutes les solutions développées.[9]

6. Type de capteurs

Il existe actuellement un grand nombre de capteurs, avec des fonctionnalités diverses et variées. La plupart des capteurs dépendent de l'application pour laquelle ils ont été conçus (capteurs aquatiques, sous-terrain, etc.)

Depuis un peu plus de 10 ans, la technologie des capteurs sans fil a beaucoup évoluée. Les modules deviennent de plus en plus petits et les durées de vie prévues augmentent.

Aujourd'hui, le marché de nœuds a été ouvert à l'industrie. Le fournisseur le plus connu est *Cross Bow Inc*. avec son offre de capteurs Mica2 et Mica Z. [9]

Nom du capteur	Mica2 Mote	MICA2dot Mote	Telos Platform
Image du capteur			
Informations sur le capteur	-Mote très connu sur le marché -contrôleur à 8 bits AVR -radio FSK -Mémoire flash des données en registrés	-Taille : 4 cm X 4 cm - CPU: 4 MHz, 8 bit -512 Bites RAM, 8KB ROM -Radio: 900 MHz, 19.2 Kbps, half-duplex -Capteurs : température, champ magnétique, pression, humidité, et force de signal (RF).	-Antenne intégrer (50m-125 m) - USB - IEEE 802.15.4 (CC2420 radio) -haute performance (10 kb de RAM, noyau de 16-bit) -standard IDC connecteurs.

Figure I.4: Types de capteurs [9]

7. Caractéristiques spécifiques des réseaux de capteurs sans fil

Les réseaux de capteurs présentent des caractéristiques intrinsèques au niveau des nœuds capteurs (énergie, portée de transmission et puissance de stockage et de traitement) et au niveau du réseau formé par ces nœuds capteurs (Bande passante, densité, déploiement, type de réseau et topologie dynamique)**.**

7.1 Caractéristiques liées aux nœuds capteurs

Les nœuds capteurs permettent de capter et de transmettre des données sur plusieurs types de paramètres du monde physique sur lequel ils sont déployés. Ces paramètres peuvent être la pression, la viscosité, la vibration, la température, la vitesse et la position des objets surveillés.

Ces objets miniaturisés présentent des propriétés propres que les capteurs habituels n'ont pas. Nous ne citons dans ce qui suit que les plus importantes :

7.1.1Durée de vie du réseau: C'est l'intervalle de temps qui sépare l'instant de déploiement du réseau de l'instant où l'énergie du premier nœud s'épuise ou le dernier nœud ou un pourcentage de nœuds. Selon l'application, la durée de vie exigée pour un réseau peut varier entre quelques heures et plusieurs années. [10]

7.1.2 Ressources limitées: Habituellement les nœuds capteurs ont une taille très petite, ce facteur de forme limite la quantité de ressources qui peuvent être mises dans ces nœuds. En conséquence, la capacité de traitement et de mémoire est très limitée.[4]

7.1.3 Bande passante: La bande passante utilisée dans les réseaux de capteurs sans fil est généralement très réduite.
A titre d'exemple, le kit de nœuds capteurs sans fil de *Cross Bow Technology*3 a été programmé pour fonctionner dans les bandes 900 et 2400 MHz. Cette propriété exige que les échanges des messages protocolaires destinés au bon fonctionnement des protocoles de communication (over Head) soient limités au maximum.[1]

7.1.4 Sécurité: En fonction de l'application, la sécurité peut être critique. Le réseau devrait permettre la détection des intrusions pour assurer un fonctionnement correct contre les mauvaises manipulation ou attaques. L'écoute, le brouillage, et les attaques de retransmission peuvent entraver ou empêcher l'opération. Par conséquent, le contrôle d'accès, l'intégrité des messages et la confidentialité doit être garanti. [3]

7.2.5 Qualité de Service: La qualité de service se réfère à la capacité du réseau à fournir des données fiable et à temps. Un grand nombre de service, à savoir, le débit ou la capacité de transport, ne sont pas généralement suffisant pour satisfaire un délai requis par une application, par conséquent, la vitesse de propagation de l'information peut être aussi cruciale que le débit. En plus de la capacité du réseau, de nombreux travaux importants dans les réseaux de capteurs sans fil sont effectués pour la garantie de la qualité de service (QoS), essentiellement sur le délai. Par exemple, dans certaines applications de contrôle entemps réel, la valeur de l'information dégrade rapidement quand la latence augmente.[3]

7.2.6 Média du transport: Dans un réseau de capteurs, la communication multi-sauts entre les noeuds est réalisée avec des liens sans fil à l'aide de media optique, infrarouge ou radio. La

plus part des réseaux de capteurs utilisent des circuits de communication à radio fréquence grâce à leur faible coût ainsi que leur facilité d'installation .[10]

7.2.7 Densité: Selon (Bulusu et al., 2001), la densité des noeuds déployés dans une région A est définie, par la relation suivante :

$\mu(R) = (N * \pi R^2) / (A)$

N : nombre de nœuds éparpillés dans la région d'aire A

R : portée de la transmission radio d'un nœud

Donc, $\mu(R)$ donne le nombre de nœuds se trouvant dans le domaine de transmission *R* d'un nœud donné dans la région *A*.

Généralement, le type de l'application envisagée influe sur le choix de la densité à prendre. Et pour obtenir des résultats de mesure de bonne qualité, on privilégie souvent le facteur nombre de nœuds, plutôt que le facteur qualité des nœuds capteurs. On cherche donc à avoir des réseaux de nœuds capteurs denses. Ainsi, une application de diagnostic de machines nécessite par exemple, une densité proche de 300 nœuds par région de 25m2, tandis que la densité nécessaire pour le contrôle des véhicules ne peut pas dépasser 10 capteurs pour une région de même taille.

Notons qu'une forte densité de nœuds capteurs exclut l'isolement de nœuds et favorise l'utilisation des communications multi-sauts qui consomment moins d'énergie que les communications traditionnelles

à un seul saut. Néanmoins elle engendre des problèmes de communication non négligeables (congestion).[1]

7.2.8 Topologie dynamique : La topologie des réseaux de capteurs change d'une manière fréquente et rapide car : les noeuds capteurs peuvent être déployés dans des environnements hostiles (par exemple un champ de bataille), la défaillance d'un noeud capteur peut donc être très probable. De plus, les noeuds capteurs et les noeuds finaux où ils doivent envoyer l'information capturée peuvent être mobiles.[4]

7.2.9 La topologie du réseau : Elle est en constante évolution à cause du changement de l'état d'activité des capteurs (actif, mise en veille et passif). Il faut que les capteurs soient capables d'adapter leur fonctionnement afin de maintenir la topologie souhaitée et assurer la couverture totale de la zone de déploiement. [10]

7.2.10 Déploiement : Les nœuds capteurs peuvent être déployés d'une manière aléatoire ou déterministe.

- méthode aléatoire où les nœuds sont éparpillés (largués par des avions par exemple) sur la zone à surveiller.
- méthode déterministe où les nœuds sont placés de manière individuelle à des endroits bien précis dans la zone de captage.

Le nombre important de noeuds utilisés dans un réseau de capteurs, qui peut atteindre jusqu'à un million (Kone, 2011), empêche souvent leur déploiement suivant un plan initialement établi. Néanmoins, un schéma général pour le déploiement initial doit être conçu pour permettre de réduire les coûts d'installation, d'augmenter la flexibilité d'arrangement des nœuds et faciliter l'auto organisationdes nœuds et leur tolérance aux pannes.

7.2.11 La tolérance aux pannes: Certains nœuds peuvent générer des erreurs ou ne plus fonctionner à cause d'un manque d'énergie, un problème physique ou une interférence. Ces anomalies ne doivent pas affecter le reste du réseau, c''est le principe de la tolérance aux pannes. Cette contrainte mesure la capacité de maintenir les fonctionnalités du réseau sans interruption dues à une panne intervenue sur un ou plusieurs capteurs. [2]

7.2.12 La consommation d'énergie : Les capteurs sont généralement alimentés par des batteries et dans certaines applications ils sont déployés dans des zones hostiles où l'intervention humaine est presque impossible pour toute opération de maintenance. De ce fait, le remplacement de la batterie est impossible. Par ailleurs, la durée de vie d'un capteur dépend grandement de la durée de vie de la batterie. Cette énergie est consommée par les différentes unités du capteur afin de réaliser les tâches de captage, traitement de données et de communication. Cette dernière est l'opération qui consomme le plus d'énergie, c'est pour cette raison que les recherches actuelles se concentrent principalement sur les moyens de réduire cette consommation pour garantir une longue durée de vie aux réseaux déployés. [2]

8. Communication dans les réseaux de capteurs sans fil

La communication et le routage dans les RCSFs constituent un réel challenge en raison des caractéristiques intrinsèques qui distinguent ces réseaux des autres réseaux sans fil tel que les réseaux ad-hoc ou cellulaire, parmi lesquelles on retrouve :

-L'impossibilité de construire un système d'adressage global pour le déploiement d'un grand nombre de nœuds de capteurs (surcharge de la maintenance des identifiants). Ainsi, les protocoles traditionnels basés sur IP ne peuvent pas être appliqués aux RCSFs.
- Contrairement aux réseaux de communication typiques, presque toutes les applications de réseaux de capteurs nécessitent le routage des données détectées à partir de plusieurs sources vers une SB particulière.
- Les nœuds de capteurs sont étroitement limités en termes d'énergie, de traitement et des capacités de stockage. Ainsi, ils ont besoin d'une gestion prudente des ressources.[11]

9. Architecture de communication basée sur le modèle OSI

Le modèle de communication comprend cinq couches qui ont les mêmes fonctions que celles du modèle OSI ainsi que trois couches pour la gestion d'énergie, la gestion de mobilité et la gestion des tâches.[2]

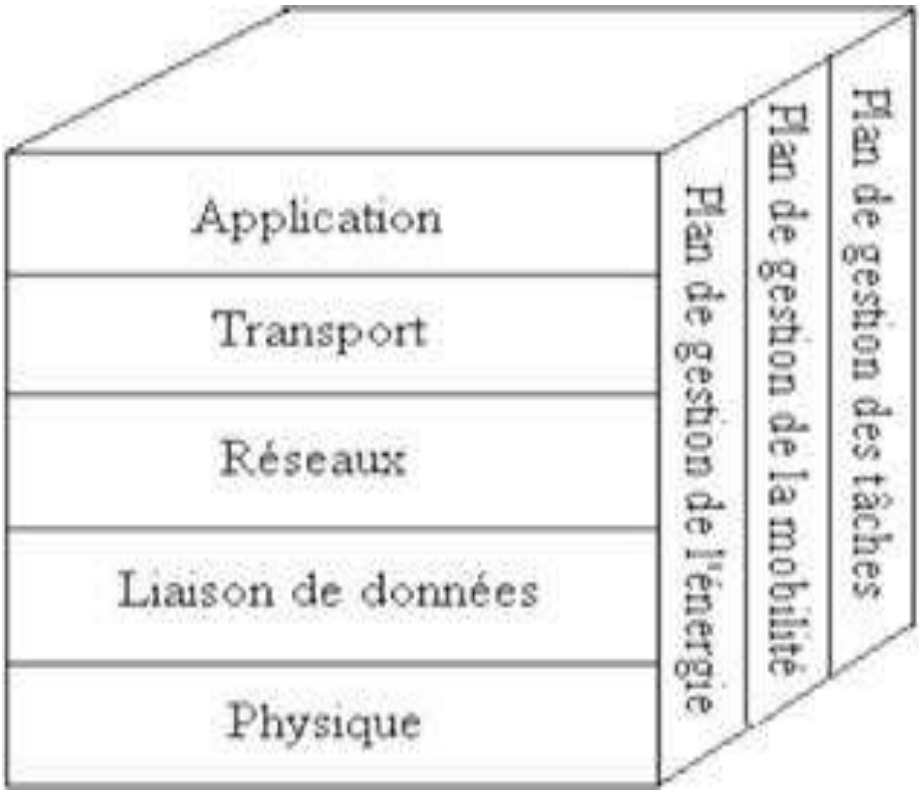


Figure I.5: Pile protocolaire dans les RCSF [2]

Le rôle de chacune de ces couches est résumé comme suit :

- **Couche physique :** matériels pour envoyer et recevoir les données.
- **Couche liaison de données :** gestion des liaisons entre les noeuds et la station de base, contrôle d'erreurs.
- **Couche réseau :** routage et transmission de données.
- **Couche transport :** transport de données, contrôle de flux.
- **Couche application :** interface pour les applications au haut niveau.
- **Plan de gestion d'énergie :** contrôle l'utilisation d'énergie.
- **Plan de gestion de mobilité :** gestion des mouvements des noeuds.[2]

10.Technologie de la communication dans les RCSF

a) Bluetooth / IEEE

Bluetooth est une spécification de l'industrie des télécommunications. Elle utilise une technique radio courte distance destinée à simplifier les connections entre les appareils électronique. Malheureusement, un grand défaut de cette technologie est sa trop grande consommation d'énergie. En plus, elle ne peut pas être utilisée pour les RCSF denses.

b) ZigBee / IEEE

ZigBee est une norme de transmission de données sans fil permettant la communication de machine à machine. ZigBee offre des débits de données moindres, mais sa très faible consommation d'énergie et ses coût de production très bas en font une candidate idéale pour la domotique ou les matériels de type capteur, télécommande ou équipement de contrôle dans le secteur industriel. .[2]

10.1 Les réseaux Ad hoc

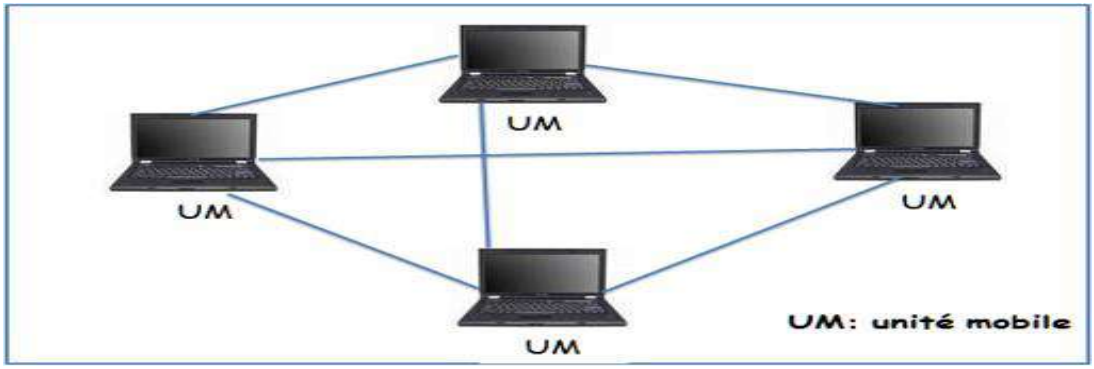


Figure I.6: Réseaux Ad Hoc [2]

Les réseaux Ad hoc (en latin : **« qui va vers ce vers quoi il doit aller »**, c'est-à-dire « formé dans un but précis », telle qu'une commission **ad hoc**, formée pour régler un problème particulier sont des réseaux sans fil capables de s'organiser sans infrastructure définie préalablement.

Les réseaux ad hoc, dans leur configuration mobile, sont connus sous le nom MAN et (pour Mobile Ad hoc NETWORKS). Chaque entité (noeud) communique directement avec sa voisine. Pour communiquer avec d'autres entités, il lui est nécessaire de faire passer ses données par d'autres qui se chargeront de les acheminer. Pour cela, il est d'abord primordial que les entités se situent les unes par rapport aux autres, et soient capables de construire des routes entre elles : c'est le rôle du protocole de routage. Ainsi, le fonctionnement d'un réseau ad hoc se différencie notablement d'un réseau comme le réseau GSM, les réseaux Wi-Fi avec des points d'accès : là où une ou plusieurs stations de base sont nécessaires à la plupart des communications entre les différents noeuds du réseau (mode Infrastructure), les réseaux ad hoc s'organisent d'eux-mêmes et chaque entité peut jouer différents rôles.[2]

10.2 Défis des RCSFs

L'évolution du nombre d'applications dans les RCSFs a donné naissance à des nouvelles problématiques qui nécessitent d'être résolues sur le plan recherche et pratique. Ces problématiques concernent plusieurs aspects. En effet, il n'y a aucun standard spécifique aux

RCSFs, les problèmes de communications, de traitement des données et de la gestion du capteur lui-même, sont partiellement identifiés et les solutions apportées sont souvent spécifiques à un cas précis. Les principaux défis lancés par la communauté des chercheurs se rapportent essentiellement aux problèmes de: la découverte du réseau, le routage, la couverture, la durée de vie, la sécurité, etc... .

Par ailleurs, les caractéristiques intrinsèques des RCSFs, telles que la capacité limitée des batteries, les moyens limités de calcul et de traitement des données, diffèrent de celles d'un réseau TCP/IP traditionnel et des réseaux ad hoc en général.

Les axes de recherches dans les RCSFs sont passés des problèmes liés au routage des données et leur sécurité aux problèmes beaucoup plus pointus concernant la durée de vie des RCSFs, améliorer leur qualité de service, augmenter leur tolérance aux pannes. D'où l'apparition des travaux sur les réseaux de capteurs dans des domaines très spécialisés et qui traitent des problématiques qui n'ont pas été abordé auparavant comme l'utilisation de la redondance pour augmenter la durée de vie de ces réseaux en mettant en veille les capteurs à tour de rôle suivant des politiques et des algorithmes d'ordonnancement d'activités. On peut classifier les travaux de recherche dans le domaine des réseaux de capteurs comme suit :

10.2.1 Conception des capteurs : Trouver de nouvelles conceptions adéquates et spécifiques pour des environnements donnés (détecteur de chute, vêtement intelligents, capteurs multimédias, ...).

10.2.2 Protocoles de communication : Trouver de nouvelles paradigmes et protocoles de communication qui prennent en compte l'évitement de collisions, les vides, les flux multimédias, le routage des données … .

10.2.3 Passage à l'échelle : Afin de garantir le bon fonctionnement du réseau, les nouveaux schémas de déploiement doivent être capables de travailler avec un grand nombre de noeuds. Par ailleurs, ils doivent utiliser la propriété de haute densité dans les réseaux de capteurs, et donc pouvoir déployer un grand nombre de noeuds dans une petite surface surtout avec l'avènement de l'internet des objets où le nombre de capteurs pourra atteindre plus de 10 $capteurs/m2$.

10.2.4 Préservation de l'énergie et optimisation : Trouver de nouvelles visions d'optimisations :

- **Sécurité :** Dans les applications sensibles la sécurisation des données est nécessaire. D'où, il faudrait tenir compte des ressources limitées des capteurs pour proposer des solutions légères en termes de calcul et de stockage.

- **Conception de middleware :** Nouvelles plateforme dédiées aux RCSFs. Selon les couches du modèle OSI, les défis actuels dans les réseaux de capteurs se résument dans le niveau matériel à la miniaturisation (nano-capteur).

Dans la couche physique, la fiabilité d'acquisition doit être augmentée, dans la couche MAC au développement des nouveaux protocoles qui augmente la QoS.

Au niveau routage au développement de nouveaux aspects de routage avec équilibrage de charge pour augmenter la durée de vie, au niveau transport de trouver de nouveau mécanisme de contrôle de flux plus efficaces quant au niveau application c'est principalement liés au développement de logiciels et applications de traitement des données qui garantissent l'organisation et la pertinence de l'information extraite des données fusionnées.[10]

11. Applications des réseaux de capteurs sans fil

Le champ d'applications des réseaux de capteurs est de plus en plus élargi grâce aux évolutions techniques que connaissent les domaines de l'électronique et des télécommunications. Parmi ces évolutions, on peut citer la diminution de taille et du coût des capteurs, ainsi que l'élargissement des gammes de capteurs disponibles (mouvement, température, ...) et l'évolution des supports de communication sans fil. En effet, les applications des réseaux de capteurs peuvent être militaires, médicales, environnementales, commerciales… etc.[12]

11.1 Applications militaires

Le domaine militaire a été, comme dans le cas de plusieurs technologies, un précurseur pour le développement d'applications de réseaux de capteurs. Le déploiement rapide, le coût réduit, l'auto-organisation et la tolérance aux pannes des réseaux de capteurs sont des caractéristiques.

qui rendent ce type de réseaux un outil appréciable dans un tel domaine. Un réseau de capteurs déployé sur un secteur stratégique ou difficile d'accès, permet par exemple d'y

surveiller tous les mouvements (amis ou ennemis), ou d'analyser le terrain avant d'y envoyer des troupes (détection d'agents chimiques, biologiques ou de radiations.[13]



Figure I.7: Les réseaux de capteurs: Application militaire [13]

11.3 Applications environnementales

La détection de mouvements d'oiseaux, d'animaux de petite taille ou d'insectes est une des applications environnementales possibles des réseaux de capteurs sans fil. Il devient ainsi possible d'observer la biodiversité, sans déranger, des espèces animales vulnérables ou difficiles à étudier dans leur environnement naturel, et de proposer des solutions plus efficaces pour la conservation de la faune et de la flore.

Grâce aux réseaux de capteurs, il est également possible de détecter des problèmes environnementaux comme la pollution, les incendies en milieu forestier, ainsi que la possibilité d'évaluer le taux de pesticides dans l'eau.

Sur les sites industriels, les centrales nucléaires ou dans les pétroliers, des capteurs peuvent être déployés en réseau pour détecter en temps réel des fuites de produits toxiques (gaz, produits chimiques, éléments radioactifs, pétrole, etc.) afin d'alerter les utilisateurs et secours plus rapidement, pour permettre une intervention efficace.[2]



Figure I.8: Application environnementale [2]

11.4 Applications médicales

Le domaine médical lui aussi bénéficie de cette technologie qui est surtout utilisés pour la surveillance les données physiologique comme la température du corps, la tension artérielle, la quantité de sucre dans le sang, et les pulsations cardiaques toutes ces données sont transmise à un ordinateur et évaluées par un médecin pour l'exploration et le control médical ou bien pour la surveillance.

Actuellement, des micro-caméras qui peuvent être avalées existent. Elles sont capables, sans avoir recours à la chirurgie, de transmettre des images de l'intérieur d'un corps humain avec une autonomie de 24 heures.

Dernièrement, des chercheurs ont présenté un projet qui consiste en la création d'une rétine artificielle composée de 100 micro-capteurs pour corriger la vue.[6]

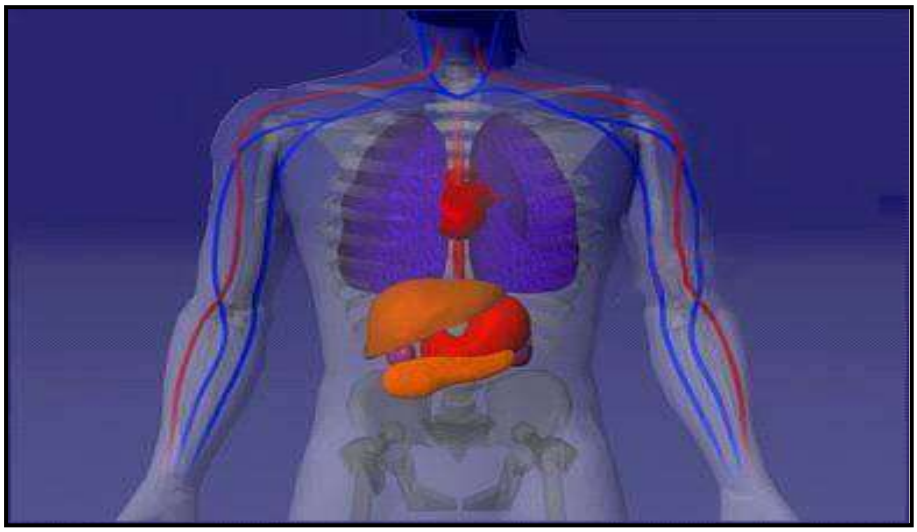


Figure I.9: Un réseau de capteurs dans le domaine medical [6]

11.5 Applications industrielles

Les réseaux de capteurs sont largement utilisés dans les différents domaines de l'industrie Comme par exemple assurer la Sécurité dans Les grandes usines sachant qu'elles sont équipées d'appareils complexes qui manipulent des produits chimique souvent toxiques, où la moindre erreur conduira à une catastrophe, dans cet environnement les RCSF jouent un rôle très important pour détecter ce genre d'incidents et intervenir immédiatement.[6]

11.6 Applications commerciales

Il est possible d'intégrer des capteurs au processus de stockage et de livraison dans le domaine commercial. Le réseau ainsi forme pourra être utilise pour Connan être la position, l'état et la direction d'un paquet. Il devient alors possible pour un client qui attend la réception d'un paquet, d'avoir un avis de livraison en temps réel et de Connan être la localisation actuelle du paquet.

Pour les entreprises manufacturières, les réseaux de capteurs permettront de suivre le procède de production a partir des matières premières jusqu'au produit na livre. Grâce aux réseaux de capteurs, les entreprises pourraient orin une meilleure qualité de service tout en réduisant leurs coûts.[14]

11.7 Applications liées a la sécurité

L'application des réseaux de capteurs dans le domaine de la sécurité peut diminuer considérablement les dépenses nuanciers consacrées a la sécurisation des lieux et des êtres humains. Ainsi, l'intégration des capteurs dans de grandes structures telles que les ponts ou les bâtiments aidera a détecter les sures et les altérations dans la structure suite a un séisme ou au vieillissement de la structure .[14]

.

11.8 Applications de L'agriculture de pointe

Les réseaux de capteurs sans fil (RCSF) peuvent être utilisés dans le domaine de l'agriculture pour le monitorage du climat, des cultures et des caractéristiques du sol dans les zones de cultures mais aussi le contrôle des intrants, et l'irritation des sols. Un bon contrôle de ces paramètres permettrait aux agriculteurs de réalisation des actions proactives afin de mieux améliorer les productions.

- Irrigation des sols : les méthodes d'irrigation traditionnelles (par inondation, par sillon, etc.) gaspiller énormément d'eau alors que cette ressource devient de plus en plus rare dans certaines zones. L'utilisation des réseaux de capteurs sans fil conjuguée avec les méthodes récentes telles que l'irrigation par goutte-goutte ou par rampe arroseur ou center pivot (irrigation de précision voire, permettrait une utilisation efficace et efficiente de l'eau dans les zones de culture. Les capteurs (underground sensors) déployés pour l'irrigation de précision effectuent des mesures des caractéristiques des zones de cultures (climat, sols, etc.).

- Fertilisation des sols : l'application de fertilisants et des pesticides dans les zones de cultures nécessite certaines précautions et dispositions à prendre telles que la température, l'humidité, le vent, etc. L'utilisation des nouvelles technologies de pointes (capteurs sans fil, actuateurs, etc..) pourrait venir en aide aux agriculteurs pour l'application des intrants et des pesticides. Ces derniers renseignent sur les conditions idéales dans les zones de cultures mais aussi permettent d'éviter des débordements par rapport à la zone cible. Ils peuvent alerter dès qu'une présence d'une certaine population d'insectes dans les zones de cultures et/ou agir en effectuant un pompage efficace des insecticides au moment opportun[15]

12. Sécurité dans les réseaux de capteurs sans fil

Plusieurs applications utilisant les RCSF nécessitent d'établir des mécanismes de sécurité efficaces. Cependant, en raison des contraintes de ressources, la sécurité dans ces réseaux pose des défis différents. On présentera alors dans cette section les besoins de sécurité, les attaques et les mesures défensives dans un RCSF.

12.1 Les besoins de sécurité dans un réseau de capteurs sans fil

Les RCSF doivent assurer les défis suivants :

- **Confidentialité de données:** elle consiste à préserver le secret des messages échangées et ne pas les révéler à un nœud non autorisé. L'approche standard pour assurer la confidentialité est de chiffrer les données.

- **Intégrité des données :** l'intégrité des données assure qu'aucune donnée reçue n'a été changée en transit. L'intégrité est assurée en utilisant les fonctions de hachage.

- **Fraîcheur des données** : la fraîcheur de données suggère que les données soient récentes, en s'assurant qu'aucun vieux message n'a été rejoué. Pour résoudre ce problème, un compteur de temps, peut être ajouté dans le paquet.

- ***Authentification*** : l'authentification de données permet à un récepteur de vérifier que les données sont vraiment envoyées par l'expéditeur réclamé. Elle peut être réalisée en calculant le code d'authentification de message (MAC) des données communiquées.

12.2 Attaques

Les RCSF sont particulièrement vulnérables à plusieurs types d'attaques. Par exemple :

12.2.1 Attaques de déni de service "Denial of Service attacks" : Wood and Stankovic définissent une attaque de déni de service en tant que n'importe quel événement qui diminue

ou élimine la capacité d'un réseau d'exécuter sa fonction prévue . Les attaques de DoS sont classées selon leurs occurrences dans chaque couche du modèle OSI :

12.2.2 Au niveau de la couche physique : une attaque peut simplement bloquer un noeud en transmettant un signal radio qui interfère avec les fréquences radio employées.

12.2.3 Au niveau de la couche liaison : un attaquant peut simplement violer le protocole de transmission en transmettant des messages afin de produire des collisions.

12.2.4 Au niveau de la couche réseau : un noeud peut tirer profit de la nature multi sauts du réseauen refusant simplement de router les messages.

12.2.5 Au niveau de la couche transport : la couche transport est susceptible aux attaques, tel que l'envoie de plusieurs requêtes de demandes de connexion à un noeud.

12.2.6 Attaques sur les protocoles de routage : Plusieurs attaques peuvent menacer les protocoles de routage pendant le processus d'établissement de la table de routage. On peut citer

12.2.7 Acheminement sélectif « Selective forwarding »: un noeud malicieux peut refuser d'acheminer certains messages en les détruisant par exemple. Une variante de cette attaque est l'attaque du trou noir « Black Hole » dans laquelle un nœud refuse de router n'importe quel message qu'il voit.

12.2.8« Sybil Attack » : cette attaque est décrite comme "un dispositif malveillant prenant d'une manière illégitime des identités multiples". Cette attaque se base sur un noeud malveillant prenant l'identité de noeuds multiples, et conduisant de ce fait les multiples chemins de routage par un noeud malveillant.

12.2.9 Attaque de trou de ver « wormholes » : est une attaque dans laquelle un noeud malveillant écoute un paquet ou des séries de paquets, les perce dans un tunnel par le réseau de capteurs à un autre nœud malveillant, et puis réplique les paquets.

12.2.10 Les attaques physiques : Les attaques physiques détruisent les capteurs de manière permanente. Par exemple, les attaquants peuvent extraire des secrets cryptographiques des nœuds, trifouiller les circuits associés « tramping », ou les remplacer avec des capteurs malveillants sous la commande de l'attaquant.[16]

13. Conclusion :

Dans ce premier chapitre, nous avons présenté les réseaux de capteurs sans fil, en particulier et leurs caractéristiques, Nous avons également décrit les domaines applications et l'architecture du noeud capteur qui compose un réseau.

Dans le prouchaine chapitre nous allons définir les differentes classification des protocoles de routage.

Chapitre II :

Approches de routage hiérarchiques pour les RCSF

CHAPITRE II : Approches de routage hiérarchiques pour les RCSFs

1. Introduction

Les capteurs sont conçus pour fonctionner durant des mois voire des années. Ainsi, la capacité énergétique des capteurs doit être utilisée efficacement afin de maximiser la durée de vie du réseau. A noter qu'une fois q'un nœud capteur a épuisé son énergie, il est considéré comme défaillant. Ainsi, il y a une forte probabilité de perdre la connectivité du réseau. Dans ce chapitre, nous décrirons les protocoles de routage dans les RCSFs et quelques exemples, et la problématique de la consommation d'énergie.[17]

Nous présenterons dans notre étude deux protocoles de routage hiérarchique qui réduisent la consommation d'énergie, le protocole leach homogène qui est la base des autres protocoles de routage de Cluster et sa version améliorée qui s'appelle I-LEACH hétérogène.

2. Protocoles de routage

2.1 Routage dans les RCSFs

Dans les RCSF, les capteurs sont déployés en grand nombre pour surveiller un tel phénomène et faire remontrer l'information à un centre de contrôle distant. Pour atteindre cette finalité, les capteurs ont la capacité de communiquer et collaborer entre eux pour acheminer l'information collectée à la station de base en garantissant sa fiabilité et en empruntant le plus court chemin entre le nœud qui a détecté ce phénomène et la station de base. Cette opération permet le routage de l'information entre le nœud détecteur et le nœud puis et elle consiste à trouver les routes les plus courtes. Dans cette optique, plusieurs protocoles de routage ont été proposés dans la littérature, néanmoins, elles peuvent être regroupées selon plusieurs classifications, selon plusieurs critères à savoir, la topologie du réseau, les opérations supportées et la destination des paquets transmis. La topologie du réseau adopté, subdivise les solutions du routage en trois (03) catégories principales : protocoles à topologie plate, protocoles hiérarchiques, protocoles géographique (location-based).[18] Les contraintes présentées dans les RCSF ont données naissance à des protocoles de routage différents que ceux des autres réseaux sans fil puisque la contrainte énergétique se pose avec force dans les RCSF. De ce fait, les protocoles de routage conçus pour les RCSF doivent garantir l'acheminement de l'information entre tout nœud du réseau et la station de base à moindre coût en termes d'énergie. Dans ce que suit, nous présentons quelques approches et techniques sur lesquelles se basent les protocoles de routage dans les réseaux

sans fil et en particulier dans les réseaux de capteurs.[19]

2.2 les approaches de routage hiérarchiques pour les RCSFs

Dans un réseau de capteurs, les nœuds sont déployés d'une manière dense où chaque nœud peut avoir plusieurs dizaines de voisins. Pour permettre la communication dans le réseau déployé, des protocoles de routage basés sur la communication multi-sauts entre les nœuds capteurs et le nœud puits du réseau sont nécéssaires.

Le principe de fonctionnement de chaque protocole diffère suivant la philosophie de l'approche à laquelle il appartient. Ces approches peuvent être distinguées suivant : la structure du réseau, les fonctions des protocoles ou l'établissement des routes.[20]

2.2.1 Classification selon la structure du réseau

Comme il est illustré dans la figure suivante, les protocoles de routage basés sur la structure du réseau peuvent être classifiés en trois catégories : protocoles plats, protocoles hiérarchiques et protocoles basés sur la localisation.[21]

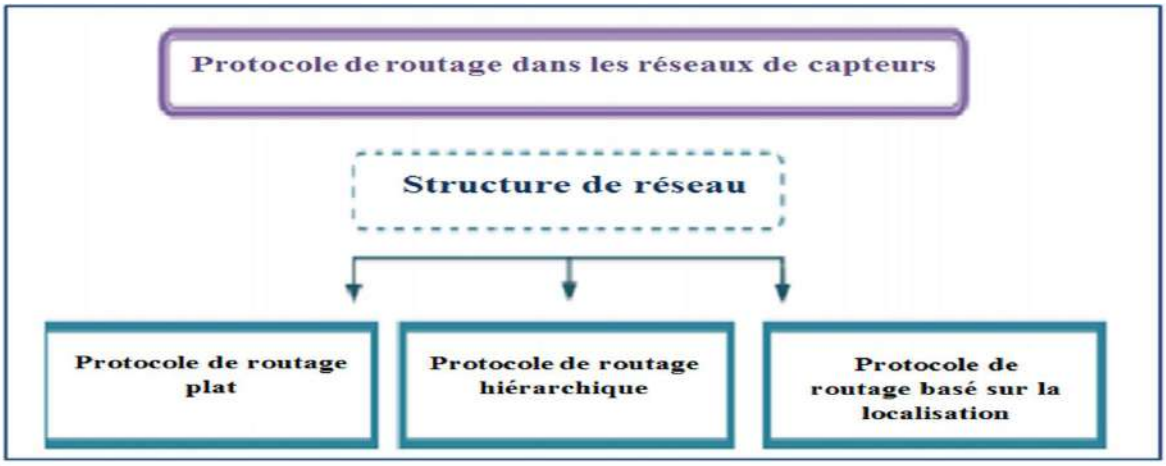


Figure II.1: Classification des protocoles de routage selon la structure de réseau [20]

2.2.1.1 Protocoles de routage à plat

Ce type de protocoles est le premier a être utiliser pour le routage sur les RCSFs; son principe est simple, c'est le puits qui envoi des requêtes vers des zones spécifiques du réseau et attend l'arrivée des réponses des nœuds vises. Deux exemples phares de cette classe de

protocoles sont SPIN (Sensor Protocols for Information via Negotiation) et DD (Direct Difusion).[2]

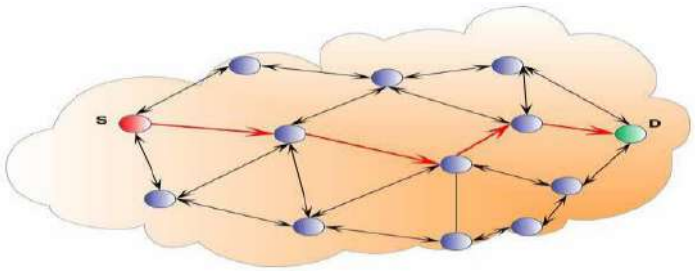


Figure II.2: Topologie plate (Flat) [22]

Avantages du routage à plat

- Scalabilité : les réseaux à plat sont scalables du fait que tous les nœuds du réseau ont les mêmes rôles et participent similairement au routage des données capturées. Ainsi, les nœuds ont besoin seulement des informations sur leurs voisins directs.
- Les réseaux à plat permettent aux protocoles de routage d'être simples, puisque les nœuds communiquent entre eux sans avoir appel à un intermédiaire.
- L'agrégation des données s'effectue par les nœuds capteurs en éliminant les redondances sur les messages qui proviennent des nœuds voisins.[20]

Inconvénients du routage à plat

- Les nœuds qui entourent un nœud puit consomment beaucoup plus d'énergie que les autres nœuds, car le trafic le plus élevé dans un réseau se trouve autour des nœuds puits.[20]

2.2.1.2 Protocoles de routage hiérarchique

Les protocoles à topologie hiérarchique forment des réseaux dans lesquels un nœud central sink (le niveau supérieur de la hiérarchie) est relié à un ou plusieurs autres nœuds qui appartiennent à un niveau plus bas dans la hiérarchie (deuxième niveau) avec une liaison point à point. Aussi, chacun des nœuds du deuxième niveau aura également un ou plusieurs autres nœuds de niveau plus bas dans la hiérarchie (troisième niveau) reliées à lui avec une liaison point à point. Chaque ensemble de nœuds forme une sorte de motif (Cluster). Le nœud central n'a aucun autre nœud au-dessus de lui dans la hiérarchie sauf le centre de traitement des données ou la passerelle si elle existe. Les nœuds du deuxième niveau jouent le rôle des passerelles entre ceux du troisième niveau

et le sink. Dans ce cas, le routage devient plus simple, puisqu'il s'agit de passer par les passerelles pour atteindre le nœud destination. [22]

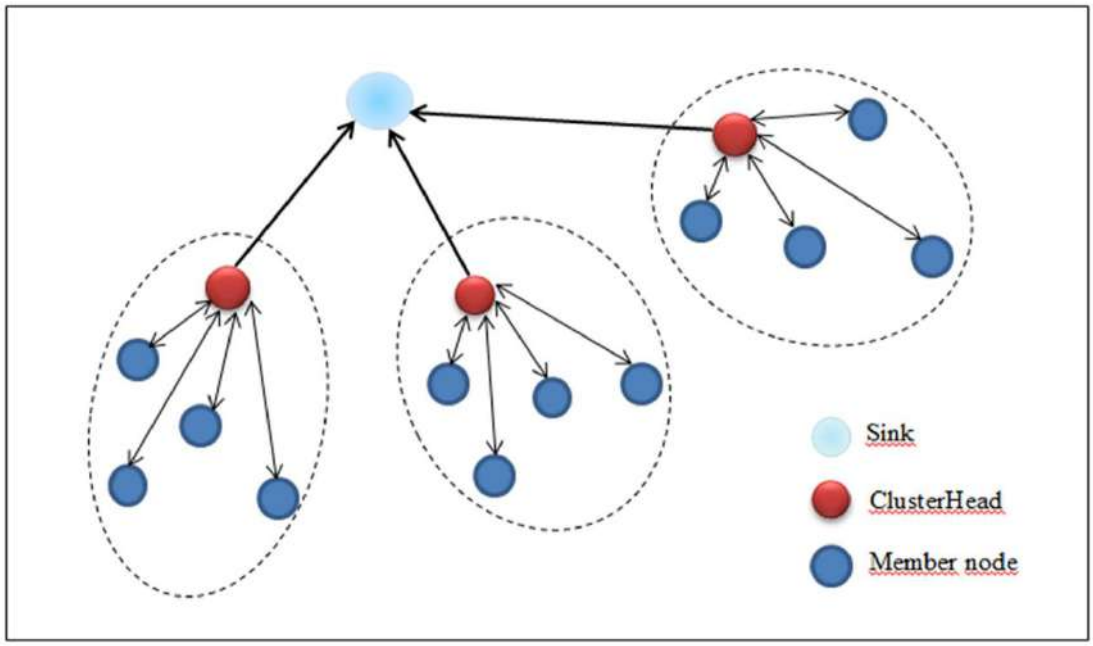


Figure II.3: Routage hiérarchique. [21]

Avantages du routage hiérarchique

- Agrégation : les données qui sont collectées à partir d'un ensemble de nœuds d'un cluster peuvent être fusionnées par un cluster-head et par la suite envoyées vers la destination.
- Délais réduits, car plusieurs chemins formés par les cluster-heads sont toujours disponibles.[20]

Inconvénients du routage hiérarchique

- Non scalable : les protocoles hiérarchiques souffrent du problème de passage à l'échelle, puisque le nombre de cluster-heads augmente au fur et à mesure que la taille du réseau augmente.
- Exigences matérielles : les cluster-heads consomment plus d'énergie que les autres nœuds dans le réseau, ce qui nécessite des nœuds avec une grande capacité en energie/ portée de transmission.
- Condition physique : plusieurs protocoles n'exigent que les nœuds cluster-head aient des ressources énergétiques plus élevées que les autres nœuds dans le réseau.[20]

2.2.1.3 Les protocoles géographiques

Les protocoles géographiques, aussi appelés les protocoles de routage basés sur la localisation utilisent les informations d'emplacement pour guider la découverte de routage et la transmission des données. Ils permettent la transmission directionnelle de l'information en évitant l'inondation d'information dans l'ensemble du réseau. Dans ce type de protocoles, chaque nœud du réseau connaît sa position et celle de ses voisins. Le positionnement du nœud peut être obtenu en utilisant un système de géo- positionnement tel que le GPS ou bien via des algorithmes de positionnement relatif. Il peut donc calculer sa distance et celle de ses voisins à la destination et envoie l'information à son voisin qui le rapproche le plus de la destination finale. Une estimation de la consommation d'énergie est réalisée au préalable pour désigner le chemin le plus rentable énergétiquement en obligeant les nœuds, qui ne sont pas sur le chemin du routage choisi, à entrer en mode veille. Avec la topologie réseau basée sur des informations de localisation de nœuds, la gestion du réseau devient simple, mais le fait que chaque nœud doit connaître les emplacements des autres nœuds reste l'inconvénient majeur de ces protocoles. Deux solutions phares de ce type de routage et qui sont : le protocole GAF et le protocole GEAR.[21]

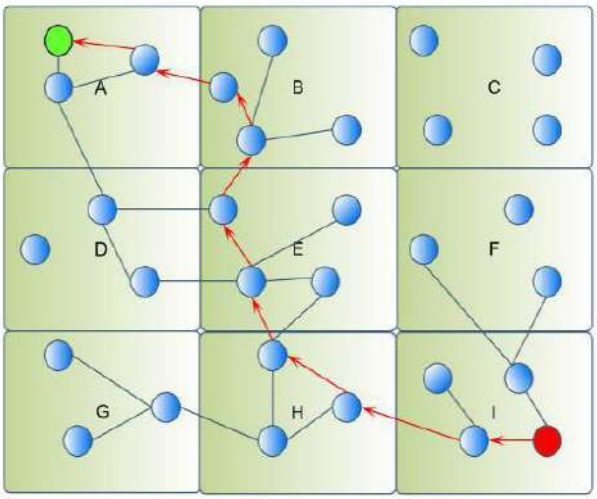


Figure II.4: Topologie basée sur localisation [22]

Avantages du routage basé sur la localization

- L'application des systèmes de positionnement, tels que le GPS facilite le contrôle de la topologie et celui de la puissance de transmission des capteurs.

- Dans le routage basé sur la localisation géographique, la région de captage est connue et les requêtes peuvent être donc dirigées uniquement vers cette région, ce qui éliminera le nombre de transmission de manière significative.
- Avec les informations de positionnement, le réseau minimise l'énergie grâce à la facilité du calcul des routes énergétiquement optimales.[20]

Inconvénients du routage basé sur la localisation

- Les nœuds doivent être équipés d'un système de localisation par satellite.
- Le routage basé sur la localisation géographique n'est pas un bon choix pour les applications qui exigent une livraison fiable à des intervalles réguliers des paquets de données.
- Le positionnement dépend de la ligne de vision, et la topographie de la surface.[20]

2.2.2 Classification selon les fonctions des protocoles

2.2.2.1 Routage basé sur la qualité de service

Dans cette catégorie, le protocole essaye de trouver un compromis entre la consomation de l'énergie et un ou plusieurs qualités de services lors de la livraison de données , ces qualités de services peuvent être le délai, la bande passante, …etc. Un exemple de ce type de routage est le protocole SPEED.

L'avantage majeur de ce type de protocoles reste la prise en compte des délais de transmissions qui les rend très recommandés à des applications de surveillance (centres nucléaires, applications militaires, etc.). Or, l'approche doit prendre en considération la contrainte d'énergie en parallèle avec les critères de la QdS.[21]

2.2.2.2 Routage avec contrôle de flux de données

Dans ce type de routage, la phase d'établissement de routes est modélisée et résolue comme unproblème de demande de flux de données où le flot représente la route que les paquets prennent, et la demande représente le taux avec lequel les paquets sont produits par les différents nœuds.

Avantages du routage à controle de flux

- L'adaptation du trafic aux capacités énergétiques des liens et des capteurs.
- La durée de vie du réseau est présentée comme une fonction générale de tous les nœuds, dont l'objectif est de maximiser les durées de vie élémentaires des capteurs.
- Répartition du trafic de façon à assurer l'équité en consommation d'énergie entre les nœuds.

Inconvénients du routage à contrôle de flux

- Les protocoles ne précisent pas comment les chemins sont établis.
- Des informations sur la topologie du réseau sont indispensables, ce qui n'est pas adapté aux RCSFs à grande échelle.
- L'adaptation du trafic à l'énergie résiduelle des capteurs n'est pas dynamique. En effet, dans le cas où un paquet trouve un nœud qui possède des voisins épuisés, ce paquet ne peut pas changer son itinéraire fixé par la source.[20]

2.2.2.3 Routage basé sur la négociation

Ces protocoles utilisent des descripteurs de données de niveau élevé afin d'éliminer les transmissions de données redondantes par la négociation. Cette dernière est utilisée aussi pour prendre les décisions de communication en se basant sur les ressources disponibles.

Avantages du routage basé sur la négociation

- le mécanisme de négociation utilisé permet de réduire le taux de données redondantes transmises et des prises de décisions adéquates suivant les ressources énergétiques disponibles des nœuds.
- L'agrégation utilisée dans les protocoles basés sur la négociation réduit la largeur de la bande passante.

Inconvénients du routage basé sur la négociation

- L'échange de messages de contrôle entre les nœuds cause la congestion du réseau ainsi qu'une perte additionnelle d'énergie.
- Le scénario de négociation entre les nœuds (déterminer les données et les acheminer) produit un retard pour délivrer les données au nœud puit.[20]

2.2.2.4 Routage multi-chemin

Dans ce type de protocoles, la source et la destination sont reliées par des chemins multiples plutôt qu'un simple chemin afin d'augmenter la performance du réseau. La tolérance aux fautes d'un protocole est mesurée par la probabilité qu'un chemin alternatif existe entre une source et une destination quand le chemin primaire est défaillant. Ceci peut être augmenté en maintenant les chemins multiples entre la source et la destination aux dépend d'une consommatio d'énergie et d'une génération du trafic. Ces chemins alternatifs sont maintenus par l'envoi périodique des messages. Par conséquant, la fiabilité du réseau peut être augmentée en maintenant les chemins alternatifs les plus récents.

Avantages du routage multi-chemin

- Un mécanisme d'équilibre de charge peut être utilisé pour la répartition du tra- fic sur les routes, ce qui permet de répartir l'utilisation des ressources des nœuds intermédiaires (énergie)

et le débit sur les liens.

- Permet de maintenir plusieurs chemins consommant moins d'énergie pour router les données vers les destinations

Inconvénients du routage multi-chemins

- Le risque de perte des paquets augmente dans le cas où ces derniers sont envoyés sur des chemins ayant des nœuds communs qui peuvent tomber en panne.
- L'utilisation de plusieurs chemins nécessite de les maintenir, ce qui consomme énormément d'énergie.[20]

2.2.3 Classification selon l'établissement des routes

2.2.3.1 Les protocoles de routages proactifs

Lorsque les noeuds de capteur sont déployés sur le terrain, aucun routage vers des noeuds spécifiques ne peut être fait. La solution pour y remédier est d'utiliser pour ce genre de réseau (le réseau ad-hoc) une technique de routage. Les protocoles de routage sont divisés en plusieurs classes.

Un protocole de routage proactif permet d'établir les tables de routage avant toute chose et permet également de connaître, en tout temps, la topologie de notre réseau. [23]

2.2.3.2 Les protocoles de routages réactifs

La deuxième classe de protocole que nous allons étudié est le protocole de routage réactif. Un protocole réactif permet d'établir une table de routage lorsqu'un noeud capteur décide de transmettre des données (suite à un événement). Il n'a aucune donnée sur le réseau. Ne connaissant pas la topologie de celle-ci ni l'énergie disponible. Le protocole réactif va permettre de rassembler les différentes données des entités du réseau pour déterminer le chemin le plus optimale à prendre afin de communiquer avec un autre noeud du réseau, ou avec le noeud puits (sink).[23]

2.2.3.3 Les protocoles de routages hybrides

Ces protocoles combinent les propriétés de base des deux premières classes de protocoles, en un seul. Autrement dit, ils sont à la fois réactifs et proactifs. Les protocoles hybrides sont

utilisés dans un réseau découpé en zone. Ils emploient un protocole proactif dans la zone et un protocole réactif pour les communications interzones.

Quand un réseau est constitué de milliers de capteurs, la gestion de l'acheminement des données entre les différents capteurs est coûteuse dans le domaine énergétique et en capacité de stockage. Dans la technique de clustering, les données ne sont pas transmises directement à la station de base mais au ClusterHead (CH) correspondant. A partir de la, le ClusterHead transmet toutes les données agrégées à une station de base distante. Alors nous pouvons en déduire que les ClusterHead reçoivent et transmettent le plus de données dans un cluster est en proie à une grande consommation d'énergie. Donc il est nécessaire de mettre en place des techniques permettant d'éviter à un ClusterHead de consommer sa capacité énergétique totale.

Pour être utilisé, cette technique de partitionnement en plusieurs zones, confère aux noeuds deux tables de routages. La première table aura pour objectif d'acheminer les données à l'intérieur de la zone. Et la deuxième table aura pour but de router les données entre les différentes zones du réseau. Cette deuxième table de routage est utilisée par les noeuds qui sont aux frontières des différentes zones. Ces derniers joueront le rôle de « Gate-way » (portes, relais) entres les différentes zones du réseau.[23]

3. Protocole LEACH (Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy)

Pour le routage dans les réseaux de capteurs homogènes, un clustering distribué nommé LEACH a été proposé par Heinzelman et al . Cette algorithme choisit aléatoirement les noeuds qui vont être des CHs et donne ce rôle aux différents noeuds suivant la méthode Round-Robin (tourniquet). Cette méthode permet de garantir une consommation de l'énergie équitable entre tous les noeuds d'un même cluster. De plus, afin de minimiser la quantité de données transmises à la station de base, les ClusterHead agrègent les informations recueillies par les noeuds membres qui sont dans le même cluster, et envoient un paquet agrégé à la station de base. Le protocole LEACH se compose de deux phases à savoir : la phase 'Set-up' dans laquelle les ClusterHeads sont choisis et les clusters du réseau sont créés. Et la deuxième phase appellée 'Steady State' durant laquelle le transfert des données sont envoyés à la station de base. Malgré cela, le protocole de routage LEACH bien qu'il puisse allonger la durée de vie du réseau, celui-ci à certaines limites.

Le protocole considère que tous les noeuds du réseau peuvent transmettre des données avec une puissance maximale pour pouvoir atteindre la station de base et que tous les noeuds ont une puissance de calcul permettant de supporter les différentes couches MAC. Donc le protocole LEACH ne correspond pas aux réseaux de très envergure pouvant être déployé sur de grandes zones. D'autre part, le protocole LEACH choisit aléatoirement les ClusterHeads et ne pose aucune contrainte sur leur distribution ainsi que sur leur niveau d'énergie. Nous pouvons trouver par conséquent des noeuds étant isolés. Dans le protocole LEACH, il y a un rassemblement des données qui est centralisé et se lance périodiquement. Mais il existe des cas où la transmission périodique des données peut ne pas être négligée car cela épuise rapidement l'énergie des capteurs.[23]

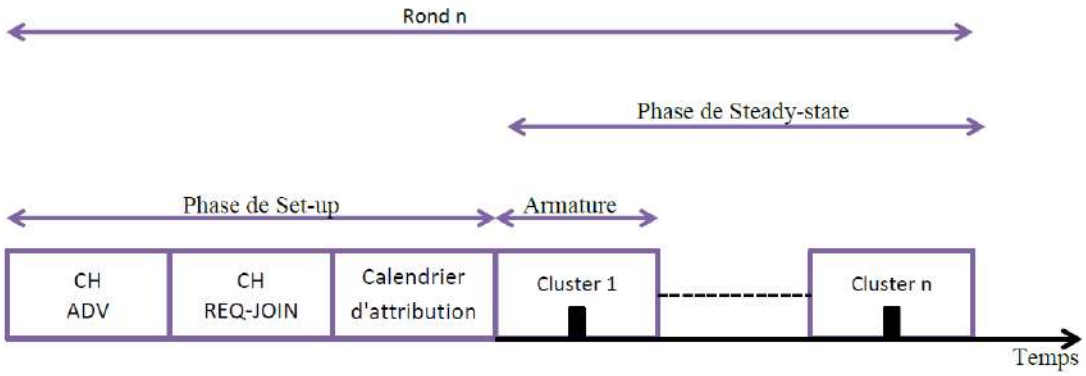


Figure II.5: Formation de clusters dans LEACH [24]

3.1 Phase de construction (set-up phase)

Le but de cette phase est la construction des clusters en choisissant les chefs (CHs) et en établissant la politique d'accès au média au sein de chaque groupe. Durant cette phase, chaque nœud *n* choisit un nombre aléatoire compris entre 0 et 1 Si ce nombre est inférieur à un seuil T(n), le nœud devient clusterhead. T (n) est défini comme suit :

$$T(n) = \begin{cases} \dfrac{P}{1-P*\left(r \bmod \frac{1}{P}\right)} & si(n \epsilon G) \quad [24] \\ 0 & sinon \end{cases} \qquad \textbf{(II.1)}$$

Avec:

p : pourcentage des nœuds désirant devenir cluterhead.

r: numéro du round courant.

G: ensemble de nœuds n'ayant pas été élus clusterheads durant les 1/P dernières périodes précédents.

Par la suite, chaque nœud qui s'est élu clusterhead émet un message de notification à tous ces voisins. Les nœuds qui récoltent les messages de notification, décident leur appartenance à un cluster. La décision est basée sur l'amplitude du signal reçu : le clusterhead ayant le signal le plus fort est choisi (le plus proche). En cas d'égalité, un chef aléatoire est choisi. Chaque membre informe son chef de sa décision.[24]

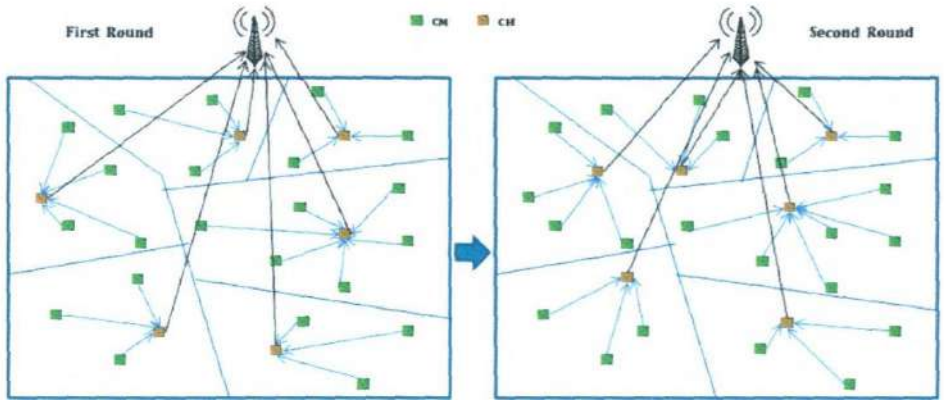


Figure II.6: Mouvement des CH en deux tours différents[26]

3.1.1 Assignation de TDMA

Chaque CH crée une table de planification TDMA et le transmet vers tous ses membres. Cette technique permet de minimiser les collisions en allouant à chaque noeud un temps privé (slot) pour transmettre ses données vers son CH.[27]

3.2 Phase de communication (steady-state phase)

En utilisant la table TDMA, les membres émettent leurs données captées pendant leurs propres slots. Cela leur permet d'éteindre leur interface de communication en dehors de leurs slots réservés, afin d'économiser leur énergie. Ces informations sont ensuite agrégées, pour être transmises à la station de base. Cette communication, entre un cluster-head et la station de base,

se fait d'une manière directe, le cluster-head adapte son émetteur radio afin d'atteindre directement la station de base.[25]

3.2.2 Interférences entre clusters

Afin de réduire les interférences entre les signaux émis par les membres de différents clusters, chaque CH choisit aléatoirement un code dans une liste de codes de propagation CDMA et informe ses membres de son cluster afin de l'utiliser dans leurs transmissions. chaque CH reconnait les signaux de ses membres à travers ces codes.[25]

La figure ci-dessous montre les différentes phases de protocole LEACH :

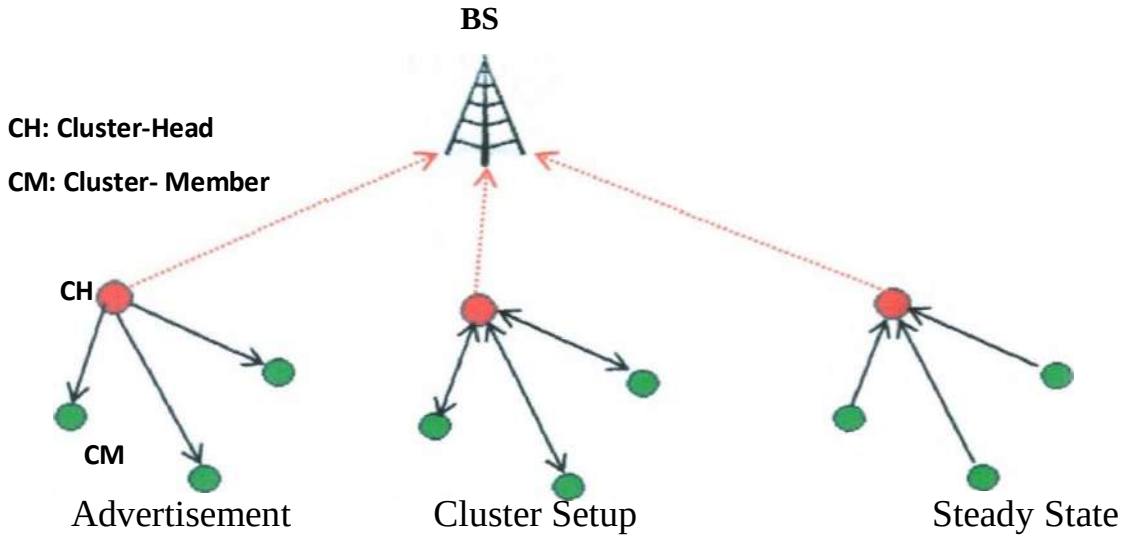


Figure II.7: Les différentes phases de LEACH [26]

4.Aventages et inconvénients de protocole LEACH

4.1 Avantages

Parmi les avantages du protocole LEACH [28] :

- Il fournit la scalabilité (évolutivité) dans le réseau en limitant la plupart des communications à l'intérieur des différents groupes (clusters) du réseau.
- Les cluster-heads (CH) agrègent ou fusionnent les informations rassemblées par les noeuds capteurs, ce qui aide à limiter le trafic produit dans le réseau. Ainsi, un réseau à grande échelle sans surcharge de trafic peut être déployé et une meilleure topologie préservant l'énergie peut être réalisée en comparaison à la topologie plate.

• La propriété de distributivité du rôle de CH entre les membres d'un cluster.
• Il ne requiert pas d'information sur la localisation des noeuds capteurs dans le réseau afin de former les groupes.

4.2 Inconvénients

Le protocole LEACH présente les inconvénients suivants[28] :
• Il s'appuie significativement sur les CHs plutôt que sur les noeuds membres du cluster pour communiquer avec la station de base. De ce fait, il encourt des problèmes de robustesse comme la défaillance des CHs.
• Les CHs ne sont pas uniformément distribués dans le cluster, ce qui signifie que les CHs peuvent se situer sur les bords du cluster. Par conséquent, certains noeuds n'auront pas de CH dans leurs voisinages.
• Il n'y a pas de communication intergroupe dans le réseau car les CHs communiquent directement avec la station de base. Ce processus nécessite une grande gamme de puissance de transmission dans le réseau. C'est pour cela que LEACH n'est pas le mieux adapté pour les réseaux de grande envergure qui requièrent une communication à un seul saut avec la station de base.
• Les CHs les plus éloignés de la station de base meurent rapidement par rapport à ceux qui sont proches de la station.
• On pourra ne pas avoir des CH durant un round si les nombres aléatoires générés par tous les noeuds du réseau sont supérieurs à la probabilité T(n).

5. LEACH hétérogène

Dans cette section, nous décrivons notre modèle de réseau capteur sans fil avec des nœuds hétérogènes dans leur quantité initiale de l'énergie. Nous présentons notamment dans ce cadre, le modèle énergétique, et comment calculer le nombre optimal de clusters. Supposons que le pourcentage des nœuds de capteurs est équipé de plus de ressources énergétiques que le reste des nœuds. Soit m la fraction du nombre total des nœuds n, qui sont équipés de α fois plus d'énergie que les autres. Nous appelons ces nœuds puissants des nœuds avancés et le reste comme des nœuds normaux. Nous supposons que tous les nœuds sont répartis uniformément sur le champ du capteur.[29]

5.1 Stratégie hétérogène

L'une des méthodes les plus efficaces pour prolonger la durée de vie des réseaux de capteurs est de redynamiser le réseaux en ajoutant quelques nouveaux nœuds lorsque certains d'entre eux sont mort, ce qui génère l'hétérogénéité en termes d'énergie.[30]

5.2 Hiérarchie des clusters

Nous considérons un réseau de capteurs qui est hiérarchiquement groupé. Le protocole LEACH (Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy) maintient une telle hiérarchie de regroupement. Dans LEACH, les clusters sont rétablis à chaque "tour".Les nouveau chefs de groupe sont élus à chaque tour et, par conséquent, La charge est bien répartie et équilibrée entre les nœuds du réseau. En outre, chaque nœud transmet au cluster le plus proche afin de répartir le coût de la communication sur le puits (qui est plusieurs dizaines de fois supérieur au coût de traitement et d'exploitation). Seule le chef de groupe doit se présenter au puits et peut dépenser une grande quantité d'énergie, mais cela se produit périodiquement pour chaque nœud. Dans LEACH, il y a un pourcentage optimal de Popt (déterminé a priori) des nœuds qui doivent devenir des clusters head à chaque tour en supposant une distribution uniforme des nœuds dans l'espace.
Au départ, chaque nœud peut devenir une cluster head avec un probabilité Popt. En moyenne, n× Popt nœuds doivent devenir cluster head par tour. Les nœuds qui sont élus pour être des clusters head dans le cycle actuel ne peut plus devenir des clusters head à la même tour. [29]

5.3 Modèle d'énergie

Dans un réseau de capteurs, l'énergie consommée par un nœud capteur est due essentiellement aux opérations de captage d'information, de traitement et de communication de données. Plusieurs modèles de consommation énergétique ont été proposés afin d'étudier et dévaluer les déférents types de dissipation d'énergie dans ces réseaux. Vu la part importante de dissipation énergétique liée à la communication dans les RCSFs, la plupart des modèles de consommation énergétique se focalisent plus sur l'évaluation de l'énergie liée à la communication. Ainsi, ces modèles prennent rarement en compte les autres formes de dissipations énergétiques qui sont généralement négligeables par rapport aux énergies nécessaires à la communication. L'énergie dissipée par la communication est divisée en deux parties : l'énergie de transmission (TX) et l'énergie de réception (RX). L'énergie de transmission

d'un nœud capteur est l'énergie dépensée lors de la transmission des données, et l'énergie de réception d'un nœud capteur est l'énergie dépensée par ce nœud lors de la réception de données envoyées par un autre nœud. Parmi les modèles de consommation énergétique proposés dans la littérature, nous allons présenter et adopter celui qui a été proposé dans par Heinzelman et al. Il s'agit d'un modèle simple de consommation énergétique qui ne tient en compte que de l'énergie de transmission et de réception. Ainsi, selon ce modèle, pour transmettre un message de longueur *k* bits entre un émetteur et un récepteur à une distance d (en mètre).

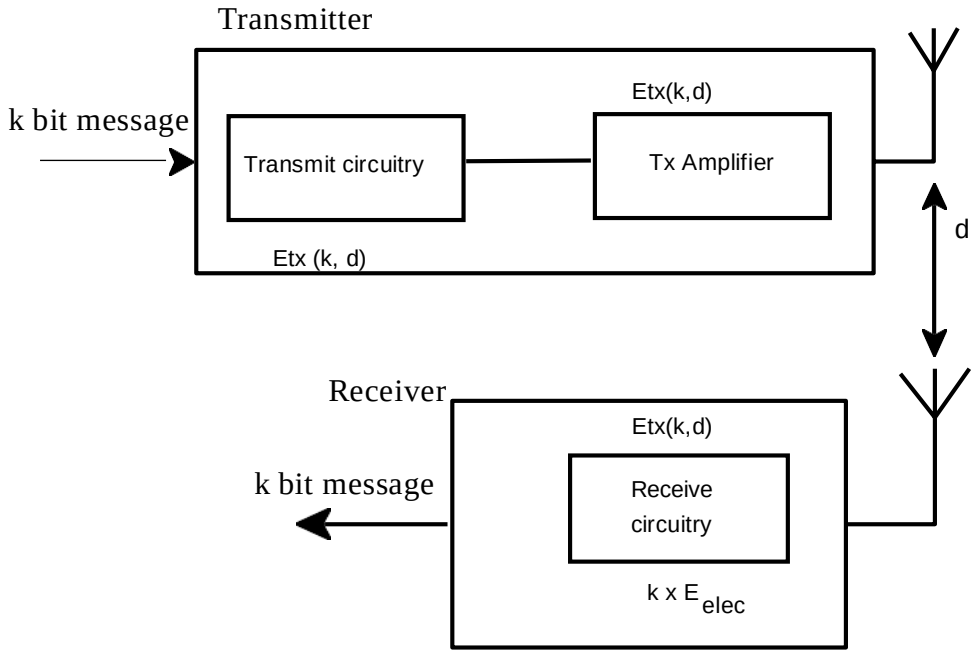


Figure II.8: Modèle d'énergie [30]

le module radio de l'émetteur dépense la quantité énergétique (en Joules) donnée par l'équation suivante[31] :

$$E_{Tx}(k, d) = E_{elec} \times k + E_{amp} \times k \times d^2 \quad [31] \qquad \textbf{(II.2)}$$

Pour recevoir ce message, le module radio du récepteur dépense la quantité énergétique (en Joules) donnée par l'équation suivante[31] :

$$E_{Rx}(k) = E_{elec} \times k \quad [31] \qquad \textbf{(II.3)}$$

Dans ces deux équations, E_{Tx} et E_{Rx} représentent respectivement l'énergie électrique de l'émetteur et celui du récepteur. La Figure 8 illustre ce modèle de consommation énergétique.[31]

6. algorithme proposé

Protocole I-LEACH tend à améliorer la procédure de sélection de la nouvelle cluster head. L'idée première de ce protocole est de prendre des décisions en fonction de l'énergie résiduelle disponible dans le nœud. En se basant sur l'énergie résiduelle, l'algorithme décide quel nœud sera cluster head parmi les autres pour le prochain cycle. Les clusters head sont généralement choisies au hasard par les nœuds pour le premier tour et, lors du tour suivant, l'énergie résiduelle de chaque nœud est prise en considération pour sélectionner le nœud comme cluster head. À chaque tour, les nœuds participent pour devenir cluser head jusqu'au dernier nœud mort. En outre, ce protocole se divise en plusieurs cycles comme le protocole LEACH. Chaque cycle contient une phase établie et une phase d'état constant.

Dans la phase d'établissement (set-up) du cluster, les nœuds qui ont plus d'énergie résiduelle deviennent cluster head. La responsabilité du nouveau cluster head est d'informer sur son élection en tant que nouveau cluster head. Les nœuds normaux qui ont moins d'énergie résiduelle envoient une demande d'adhésion au cluster à la cluster head. Dans le cas du développement en régime permanent (steady state) d'un cluster, les nœuds envoient des informations aux autres nœuds ainsi qu'à la cluster head si la destination existe en dehors du cluster. Toute cette communication est effectuée selon le plan TDMA. Le cluster head transmet ensuite l'information au nœud récepteur. Au fur et à mesure que le temps passe, le réseau relance le processus de réélection de cluster head.[32]

7. Conclusion

En ce qui concerne les réseaux de capteurs sans fil, le principal défi à relever est de savoir comment utiliser efficacement l'énergie parce que les nœuds des capteurs sont alimentés par des piles. Notre principal objectif est d'augmenter la durée de vie du réseau le plus longtemps possible. On a abordé dans ce chapitre différentes types de protocoles de routage dans les réseaux de capteur sans fil et leurs classifications, et parmi ces protocoles il éxiste le protocole héirarchique LEACH qui est considéré comme le premier protocole basé sur un cluster, LEACH a trouvé un des protocoles de rendement le plus optimales utilisés dans RCSF, il est également considéré comme la base des autres protocoles de routage de Cluster, mais pour mieux prolonger la vie de réseau de RCSF, il y a besoin d'explorer des protocoles plus robustes, plus fiables et efficaces à l'avenir, et pour cela on a proposé le

protocole I-LEACH hétérogène “Improved Leach” pour l’étudier et le comparé avec le protocole basique LEACH.

Dans le chapitre suivant nous allons faire une étude comparative entre les deux protocoles précédents avec une simulation par le logiciel MATLAB, et on va éssayer de démontré que le protocole I-LEACH prolonge la vie du réseaux et la période de stabilité mieux que le protocole LEACH normale.

CHAPITRE III :
Etude comparative
entre les deux protocoles LEACH et I-LEACH

CHAPITRE III : Etude comparative entre les deux protocoles LEACH et I-LEACH

1.Intoduction

Afin de faire une étude comparative entre le protcole LEACH homogène et LEACH hétérogène “I-LEACH”, nous allons implémenté les deux derniers protocoles sous le simulateur MATLAB.

Dans ce chapitre, nous allons en premier lieu, présenter la plateforme logicielle que nous allons utilisé pour l'implémentation et la simulation, ensuite, nous allons présenter les résultats de simulation (par figures) en comparant le protocole LEACH avec I-LEACH .

2.Généralités sur la simulation

Dans nos jours, la simulation connaît un essor considérable, et ce grâce à l’intérêt que présente les modèles informatiques des systèmes simulés [24] :

2.1 Définition

La simulation consiste à la modélisation informatique d’un système quelconque, en offrant une représentation de toutes les entités de ce système, leurs comportements propres, ainsi que leurs interactions. Elle met à la disposition de l‟utilisateur un environnement d’expérimentation dont on peut faire varier les paramètres. Grâce aux progrès réalisés dans le domaine du développement et des techniques de programmation, nous disposons aujourd‟hui de langages de programmation très puissants. Ainsi, il devient possible de réaliser un simulateur dans un environnement de programmation existant.

2.2 Types de simulation

En fonction du type d’évènements dans la simulation, nous distinguons deux types de systèmes de simulation : les systèmes discrets et les systèmes continus [24]

2.2.1 Systèmes de simulation discrète

Sont des systèmes pour lesquels les variables concernées par la simulation ne changent d'état qu‟en un nombre fini de points sur l'axe du temps. On appelle également ces systèmes : systèmes de simulation à évènements discrets.

2.2.2 Systèmes de simulation continue

Ce sont des systèmes pour lesquels les variables peuvent changer d‟état à n‟importe quel instant pendant la simulation..

3. Le langage MATLAB

MATLAB (« matrix laboratory ») est un langage de programmation émulé par un environnement de développement du même nom, il est utilisé à des fins de calcul numérique, Développé par la société The Math Works, MATLAB permet de manipuler des matrices, d'afficher des courbes et des données, de mettre en œuvre des algorithmes, de créer des interfaces utilisateurs, et peut s'interfacer avec d‟autres langages comme le C. est un langage très puissant en calcul. Le logiciel MATLAB est construit autour du langage MATLAB. Une interface en ligne de commande, qui est un des éléments du bureau MATLAB, permet d‟exécuter des commandes simples. Des séquences de commandes peuvent être sauvegardés dans un fichier texte, typiquement avec l‟éditeur MATLAB, sous la forme d'un « script » ou encapsulé dans une fonction.[24]

4. La préparation de la simulation

Le protocole proposé est testé virtuellement dans un logiciel qui suppose un réseau de capteurs hétérogènes avec 100 nœuds de capteurs déployés de manière aléatoire sur une région de (100×100) m2. La station de base est située à (50m, 50m).L'énergie initiale de chaque nœud sera de 0,5J. L'algorithme I-LEACH est implémenté dans le paquet MATLAB et la performance est évaluée en mesurant les valeurs des paramètres qui ont résulté après la simulation. Pour l'introspection du protocole, nous avons mesuré la durée du réseau en roudes pour voir quand le 1er nœud mort. La valeur seuil réelle sera calculée comme suit :

$$Tr(n) = \begin{cases} \left(\frac{P}{1-P*\left(r \bmod \frac{1}{P}\right)}\right) * \left(\frac{E\ résiduelle}{E0}\right) & si(n \epsilon G) \\ 0 & sinon \end{cases} \quad \textbf{(III.1)}$$

où, p représente une fraction des nœuds, cluster-head est sélectionnée sur la base de la valeur du seuil Tr(n). La quantité dépend du pourcentage de cluster qui s'avère être une cluster-head (p), r est le nombre de tours et G: est le nombre de clusters qui ne sont pas devenues une cluster-head lors des derniers tours (1/p). Eresidual: est l'énergie résiduelle du nœud, E0: est l'énergie initiale.

5. LES MESURES DE PERFORMANCE

Nous définissons ici les mesures que nous utilisons dans ce document pour évaluer la performance des protocoles de regroupement [29].

Période de stabilité : c'est l'intervalle de temps entre le début de la le fonctionnement du réseau jusqu'à la mort du premier nœud du capteur. Nous appelons également cette période "région stable".

Période d'instabilité :c'est l'intervalle de temps entre la mort de le premier nœud jusqu'à la mort du dernier nœud du capteur. Nous On appelle également cette période "région instable".

Durée de vie du réseau : c'est l'intervalle de temps entre le début de fonctionnement (du réseau de capteurs) jusqu'à la mort du dernier nœud vivant.

Nombre de cluster head par tour : Ce nombre instantané La mesure reflète le nombre de nœuds qui enverraient directement vers le puits d'informations agrégées à partir de leur membres du cluster.

Nombre de nœuds vivants (total, avancé et normal) par tour : Cette mesure instantanée reflète le total nombre de nœuds et celui de chaque type qui n'ont pas encore ont dépensé toute leur énergie.

6. RÉSULTATS DE LA SIMULATION

LEACH de 100 nœuds et de dimensions 100*100 m^2, répartis aléatoirement dans un lieu géographique de coordonnées X et Y mesurées en mètres, le tableau III.1 illustre les paramètres de simulation.

CHAPITRE III : Etude comparative entre les deux protocoles LEACH et I-LEACH

Tableau III.1: les paramètres des simulations

Les paramètres	Les valeurs
Le nombre des nœuds Total (N)	n=100
Surface (L*L, L= longueur du réseau)	100 X 100 m^2
Eo (L'énergie initiale pour un nœud)	0,1 J
Emplacement de la station de base	(0.5*X,0.5*Y)
L'énergie consommée pour la transmission «ETX »	50 nJ / bit
L'énergie consommée pour la réception « ERX »	50 nJ / bit
le facteur d"amplification du signal (Efs) pour « d<=d0 »	10 pJ / bit
le facteur d"amplification du signal(Emp) pour « d>d0 »	0.0013 pJ / bit
L'énergie d'agréation (EDA)	5 nJ
Le nombre des rounds "tours" (r max)	R max=4000
Valeur pour Les nœuds avancés (dans le I-LEACH) (m,a)	m=0.1%, a=1
La probabilité d'être CH (P)	10%

6.1 Résultat et discussion

6.1.1 Résultats de protocole LEACH

en simulant le protocole LEACH à l'aide de MATLAB., la figure III.1 illustre la répartition des nœuds de capteurs.

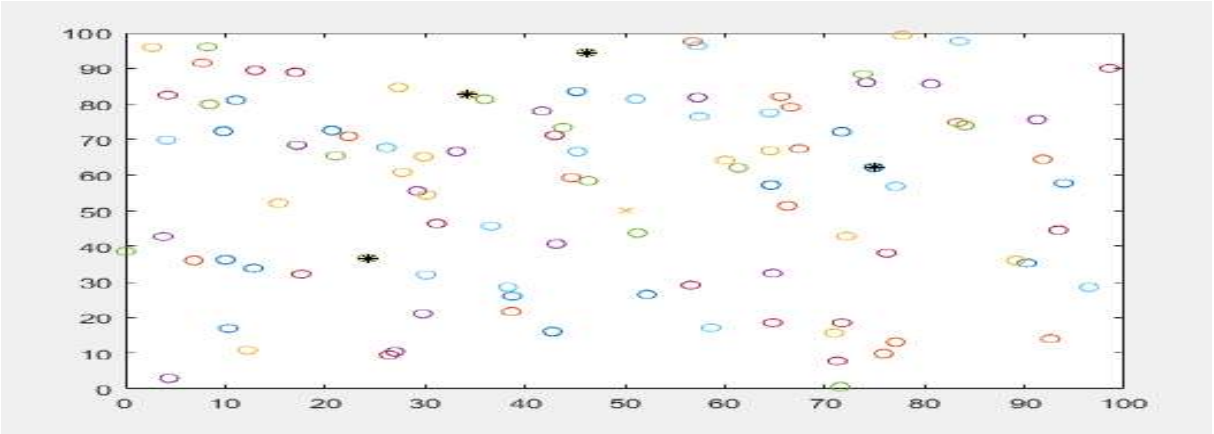


Figure III.1: Déploiement aléatoire des nœuds de capteurs (LEACH homogéne)

× : la station de base. ○ : le noeud normal (noeud non cluster-head).
⊛ : cluster-head.

6.1.1.1 Noeuds vivats et morts

Les figures III.2 et III.3 représentent le nombre des nœuds vivants et le nombre des nœuds mort par rapport du round après 4000 rounds. Le réseau capteur sans fil (WSN) reste stable “période de stabilité” jusqu'à la mort du premier noeud au tour 790, puis le réseau deviant instable jusqu'au tour 2362 “région instable”, où nous remarquons la mort du dernier noeud et donc la mort du réseau.

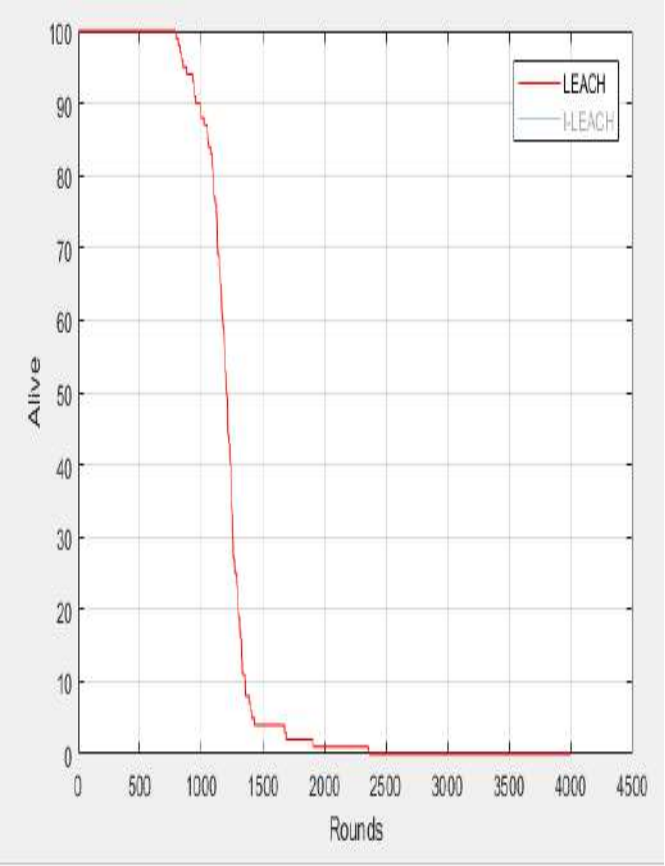


Figure III.2: le nombre des noeuds vivants

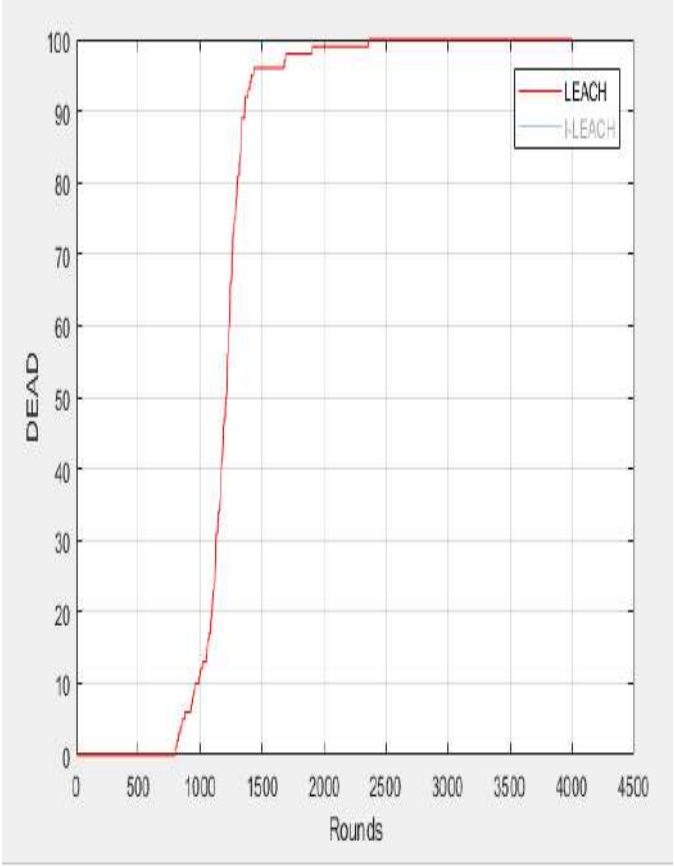


Figure III.3: le nombre des noeuds morts

6.1.1.2 L’énergie consommé et résiduelle

Les figure III.4 et III.5 représentent l’énergie consommé et l’énergie résiduelle successivement par rapport le nombre de rounds après 4000 rounds. Alors l’énergie consommé augmenté à chaque round jusqu’ à 1300 où la consummation d’énergie s’éteindre après que les noeuds ait complétement consommé son énergie, et le contraire pour l’énergie résiduelle.

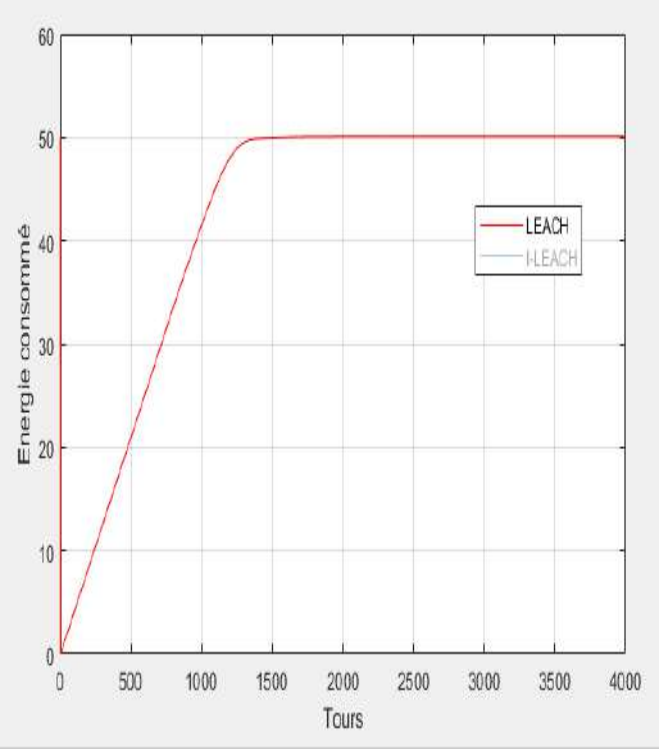


Figure III.4: L'énergie consommé par rapport nombre de tours

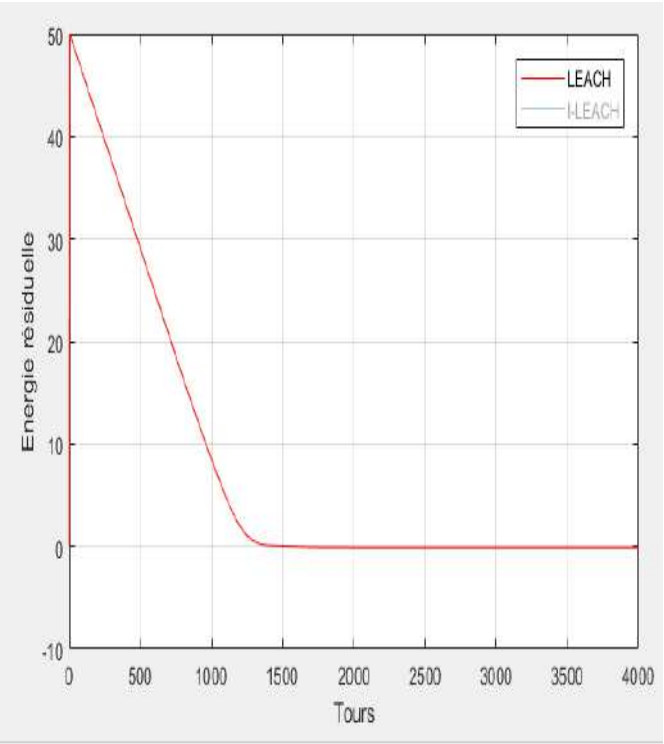


Figure III.5: L'énergie résiduelle par rapport nombre de tours

6.1.1.3 Les paquets envoiyée au station de base

La fréquence avec laquelle les paquets sont envoyés du noeud à la station de base continue d'augmenter jusqu'au round 1500 où il s'installe à 12000 pacquets, la figure III.6 illustre cela.

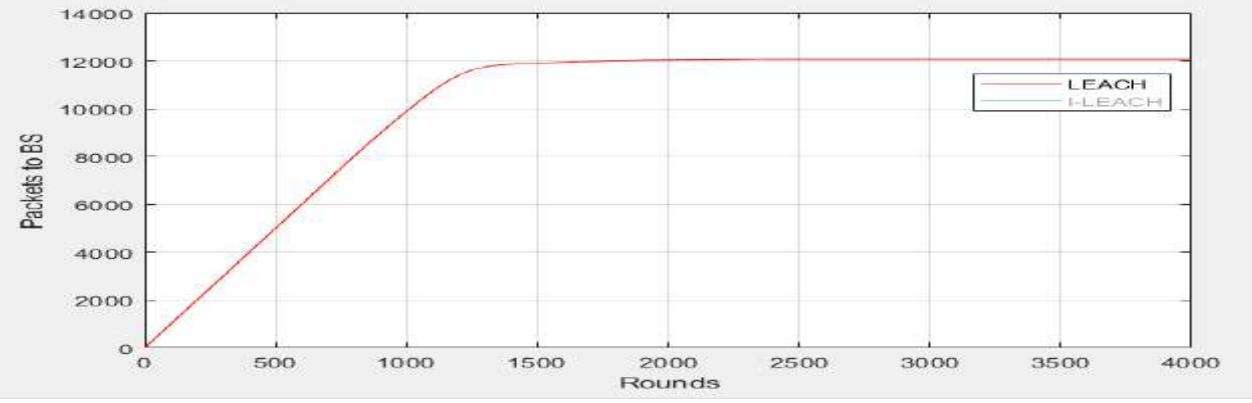


Figure III.6: les paquets envoyé au BS

6.1.2 Résultats de protocole I-LEACH

Le principal objectif de ces expériences est d'augmenter la durée de vie du réseau en réduisant la consommation d'énergie des nœuds. La fiabilité dépend du fonctionnement et de l'efficacité du protocole. Afin de le vérifier, le protocole est testé et simulé virtuellement dans MATLAB.. La figure III.7 montre la phase initiale du processus de débogage qui affiche le déploiement aléatoire des nœuds de capteurs dans la zone présumée. Tous les nœuds ont tendance à être déployés de manière aléatoire dans une zone présumée de 100m*100m, où la station de base est positionnée au milieu de 50m*50m, ce qui est marqué par un petit "x".

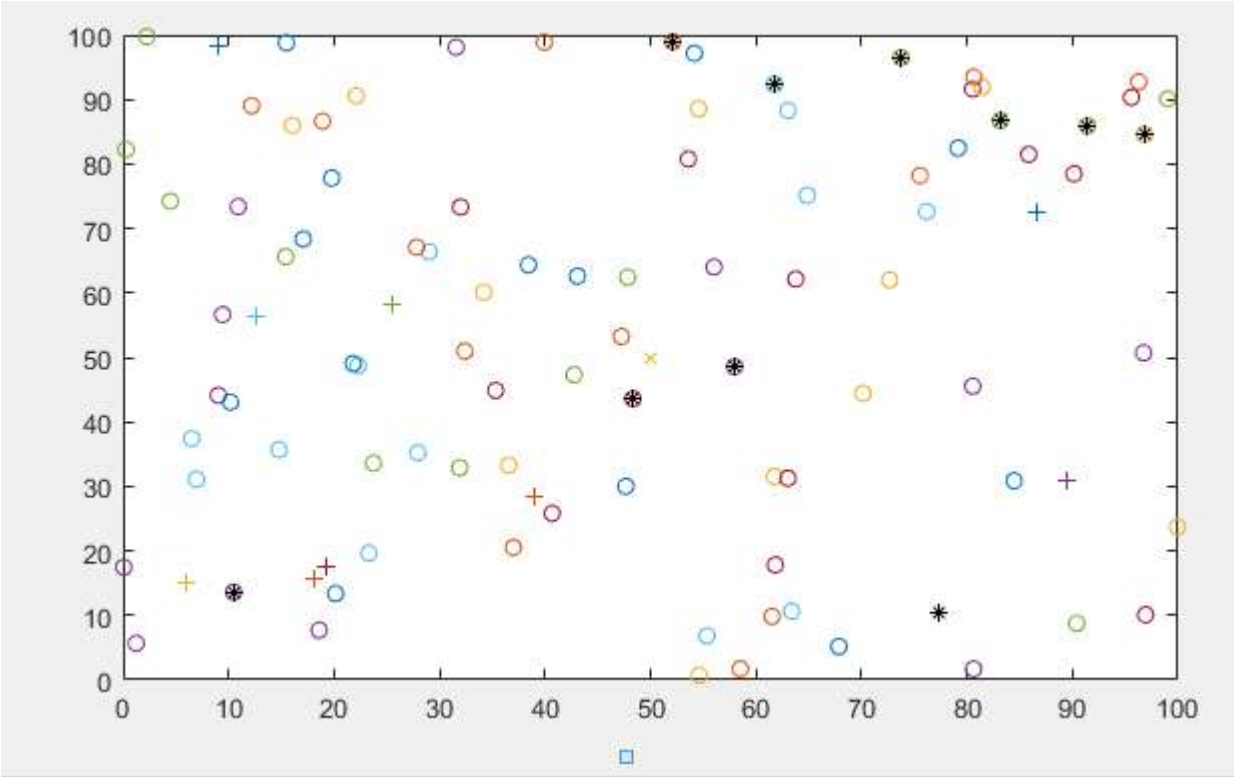


Figure III.7: Déploiement aléatoire des nœuds de capteurs (I-LEACH)

×: la station de base.

○ : le noeud normal (noeud non cluster-head).

⊛: cluster-head.

+ : le nœud avancé.

CHAPITRE III : Etude comparative entre les deux protocoles LEACH et I-LEACH

6.1.2.1 Noeuds vivats et morts

Les figures III.8 et III.9 représentent le nombre des nœuds vivants et le nombre des nœuds mort par rapport du round après 4000 rounds. L'intervalle de temps entre le début de la le fonctionnement du réseau jusqu'à la mort du premier nœud du capteur est [0_1037] et l'intervalle de temps entre la mort de le premier nœud jusqu'à la mort du dernier nœud du capteur est [1037_3250].

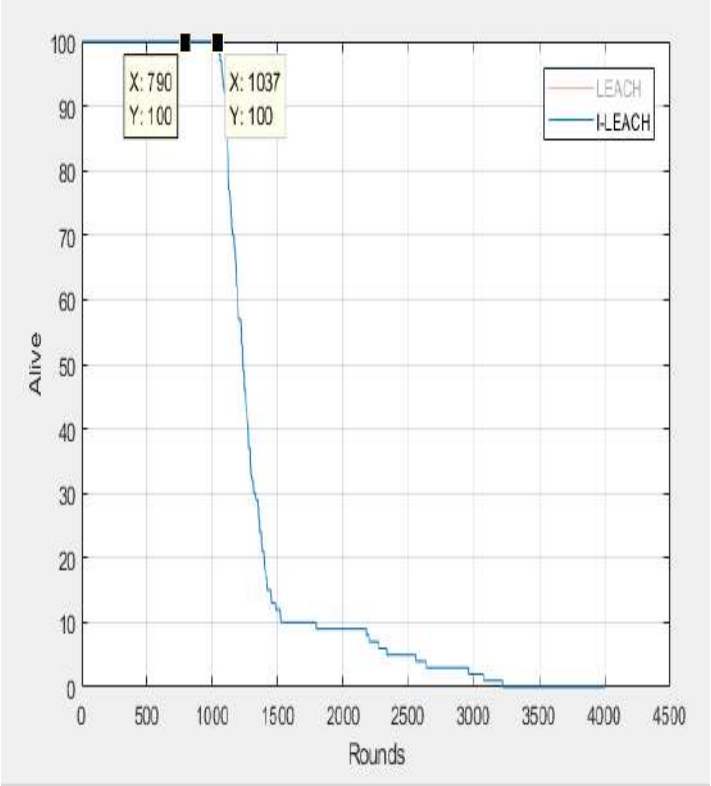


Figure III.8: le nombre des noeuds vivants (I-LEACH)

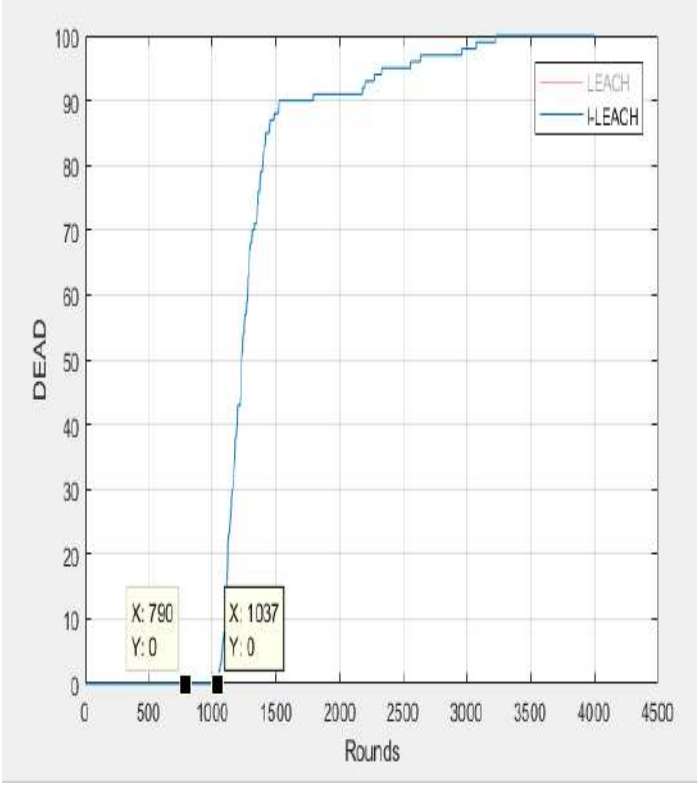


Figure III.9: le nombre des noeuds morts (I-LEACH)

6.1.2.2 L'énergie consommé et résiduelle

Les figure III.10 et III.11 représentent l'énergie consommé et l'énergie résiduelle successivement par rapport le nombre de rounds après 4000 rounds. Alors l'énergie consommé augmenté à chaque round jusqu'au 2231 où la consummation d'énergie commence à duminuer jusqu'à ce que les noeuds consommé toute son énergie, et le contraire pour l'énergie résiduelle.

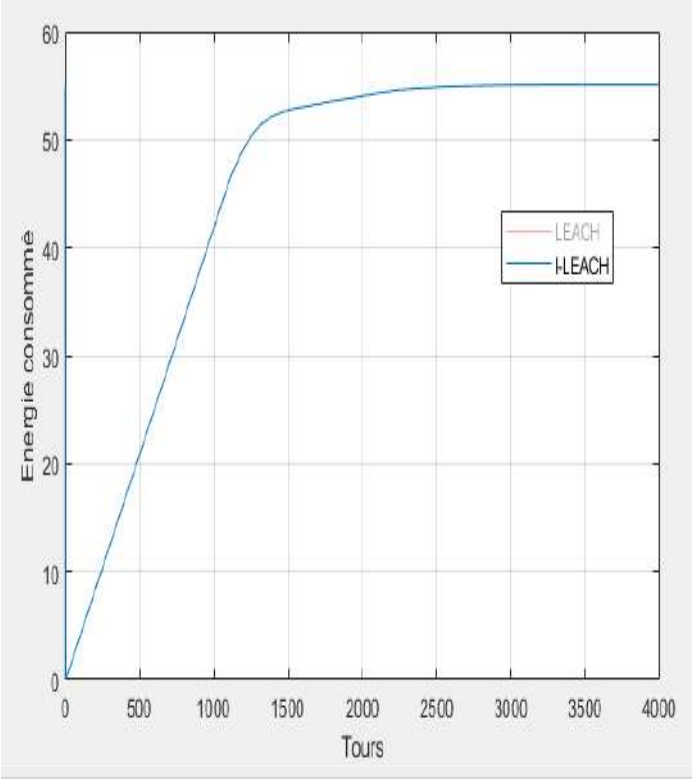


Figure III.10: L'énergie consommé par rapport nombre de tours(I-LEACH)

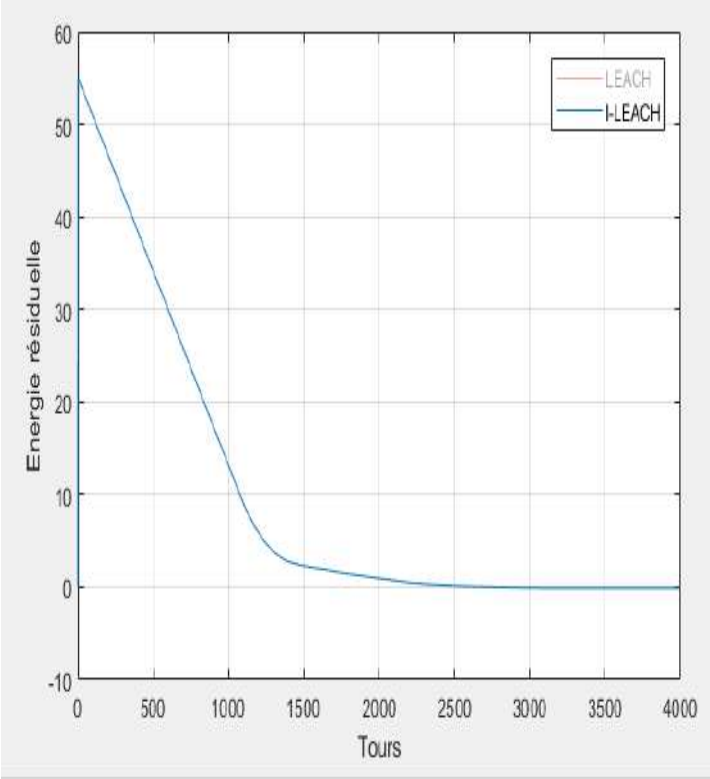


Figure III.11:L'énergie consommé par rapport nombre de tours(I-LEACH)

6.1.2.3 Les paquets envoiyée au station de base

La figure III.12 représente que la fréquence d'envoi des paquets vers la station de base ne cesse d'augmenter jusqu'au dernier tour.

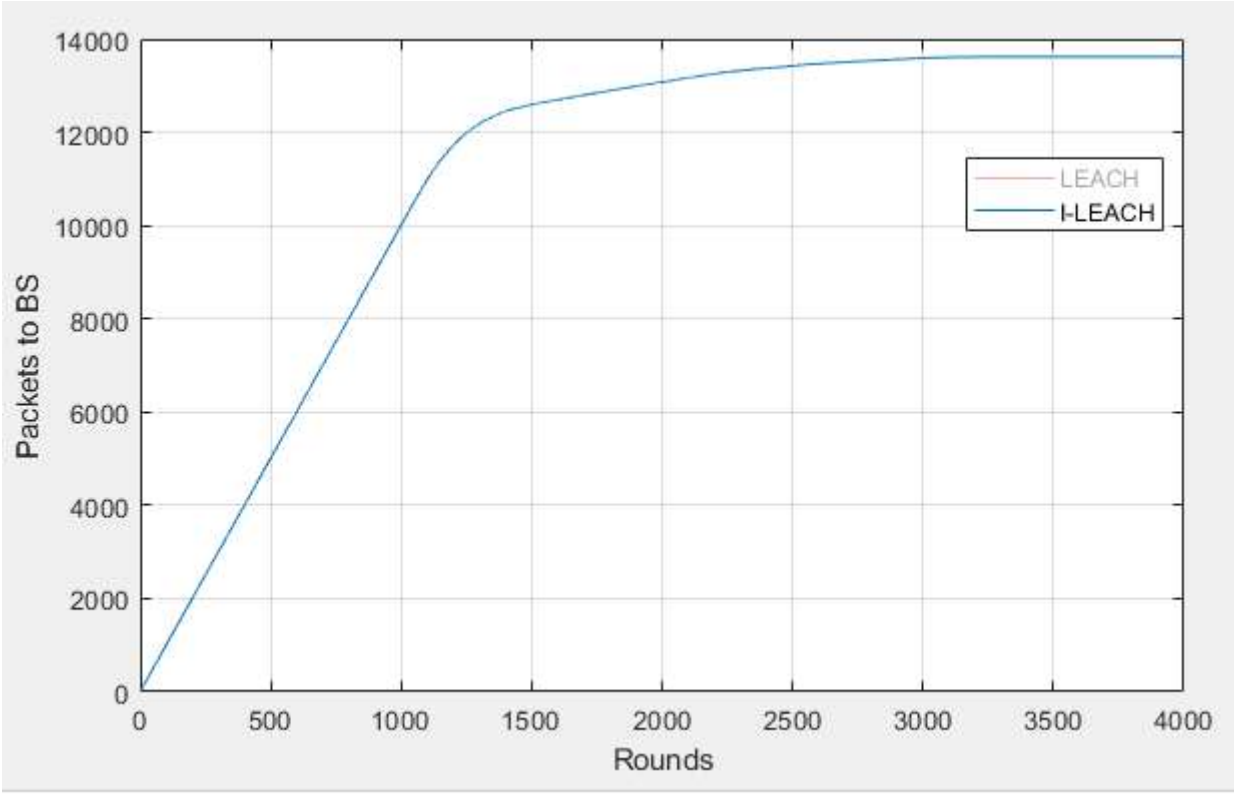


Figure III.12: Le nombre de paquets envoyé au BS (I-LEACH)

7. Comparaison entre LEACH et I-LEACH

La figure III.13 présente le réseau lorsque tous les nœuds sont morts, c'est-à-dire qu'ils ne sont plus opérationnels. Les résultats révèlent que le dernier nœud du réseau fonctionnant sous le protocole I_LEACH modifié meurt après 3250 cycles. C'est beaucoup mieux que le technique LEACH traditionnel.

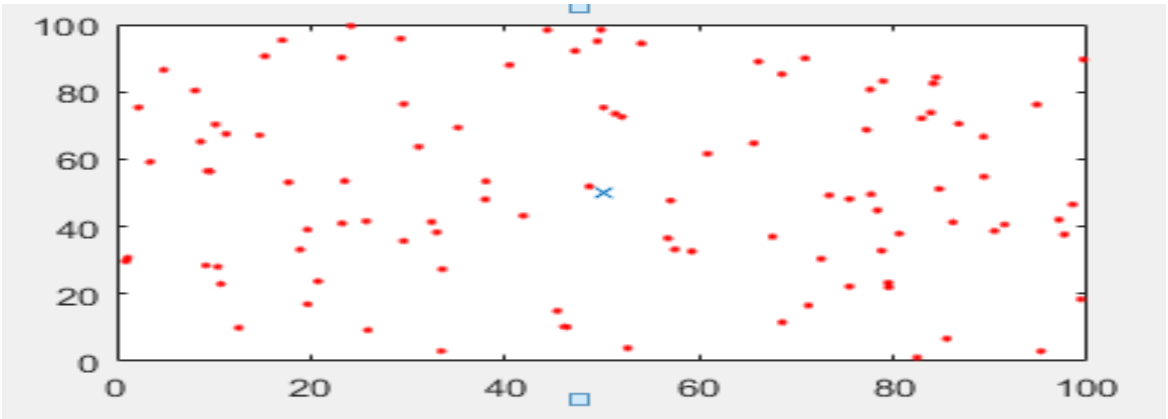


Figure III.13: Réseau avec tout les noeuds morts

CHAPITRE III : Etude comparative entre les deux protocoles LEACH et I-LEACH

7.1 Comparaison entre les noeuds vivats et morts

Les figures III.14 et III.15 montrent la corrélation entre la technique classique LEACH et I-LEACH. Dans la technique I-LEACH, les nœuds du cluster informent les têtes du cluster de son propre statut. Ce protocole est très efficace en termes d'économie d'énergie. Ainsi, le protocole améliore les régions d'action hiérarchique basée sur les grappes en utilisant des directives d'hétérogénéité comme la détermination des nœuds avancés et le facteur de vitalité supplémentaire entre les nœuds avancés et les nœuds normaux. Ainsi, le protocole I-LEACH modifié a augmenté le temps de stabilité du premier nœud mort et, par conséquent, le temps du dernier nœud mort.

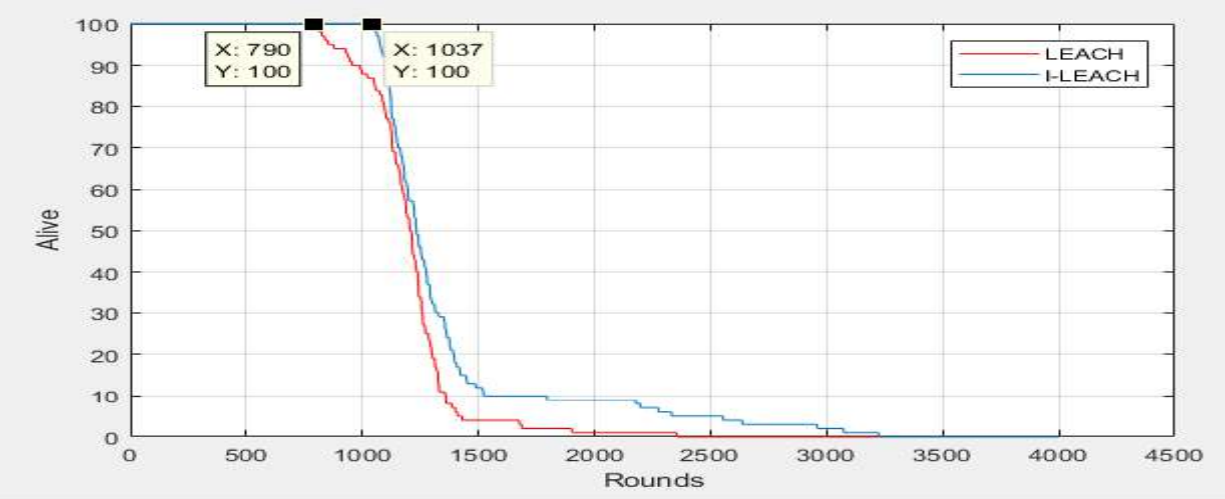


Figure III.14: Comparaison des noeuds vivants

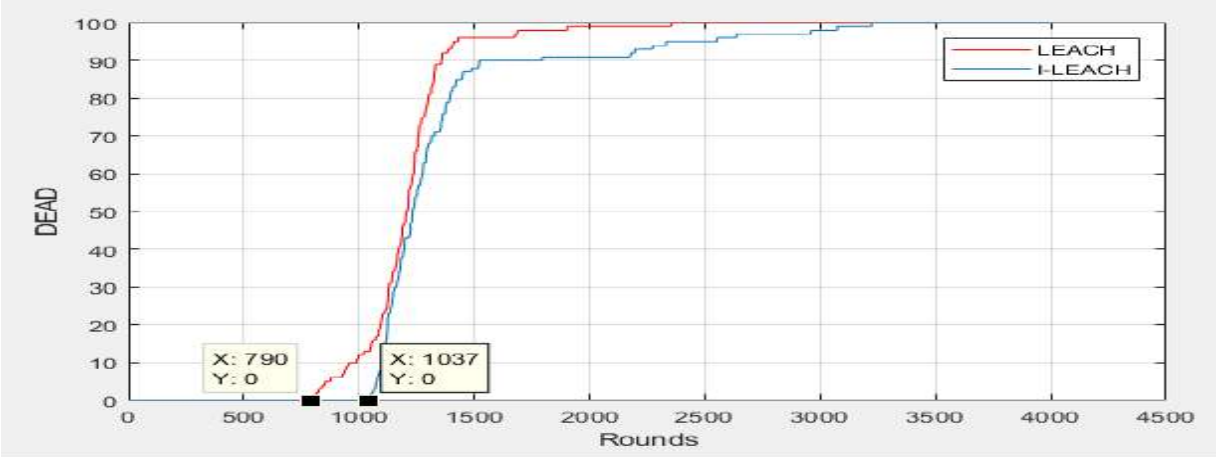


Figure III.15:comparaison des noeuds morts

7.2 Comparaison entre l'énergie consommé et l'énergie résiduelle

Comme le montre la figure III.16 , le protocole I-LEACH améliore la consummation d'énergie et donc les noeuds de ce protocole consomment leurs énergie totale dans des tours avancés par rapport au protocole LEACH classique , et à propos de la figure III.17 Elle montre que l'énergie dans le protocole I-LEACH résiste pour un nombre plus grand de tours par rapport au LEACH classique.

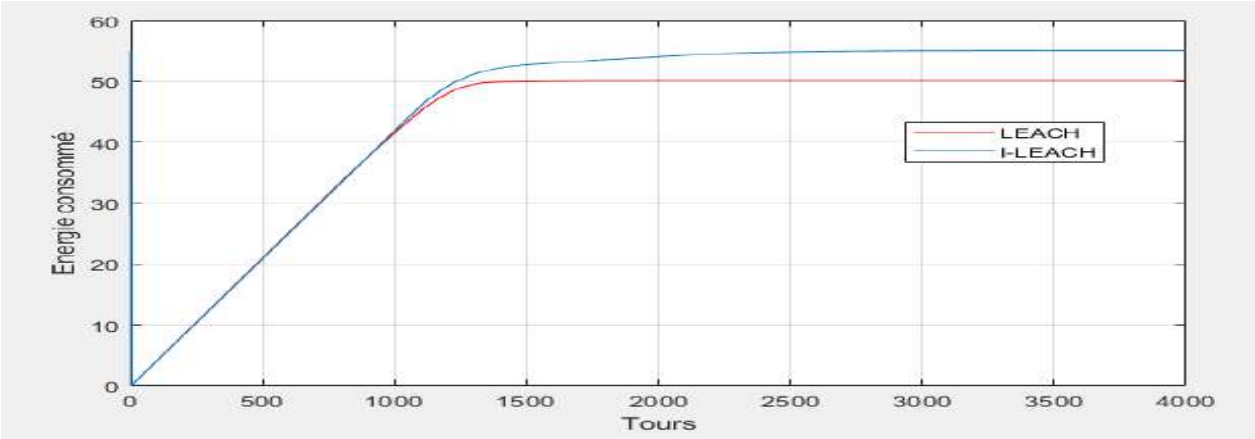


Figure III.16: Comparaison d'énergie consommé

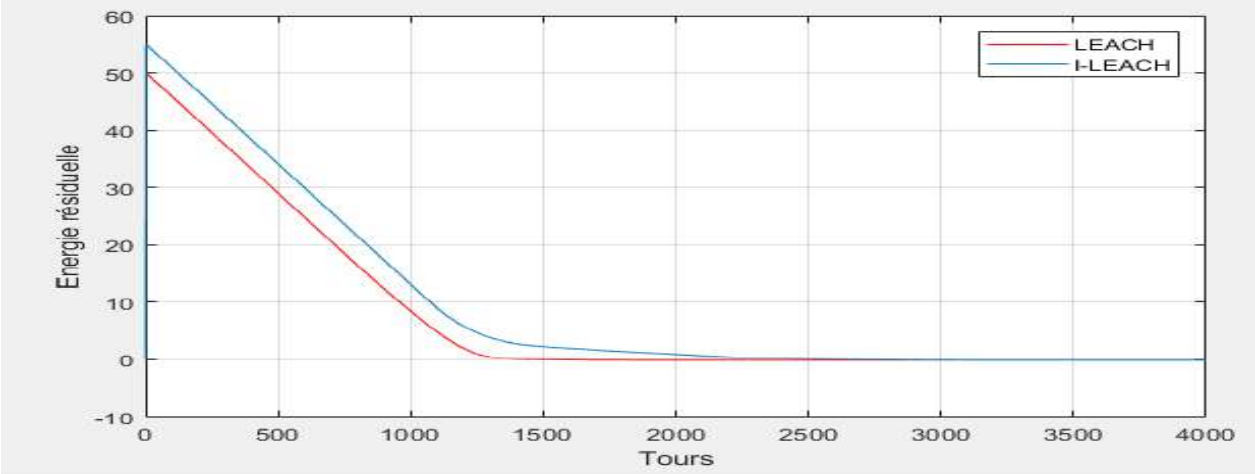


Figure III.17: Comparaison d'énergie résiduelle

7.3 Comparaison entre les paquets envoiyée au station de base

Nous remerquons dans la figure ci-dessous que l'envoi des paquets de données à la station deBase dans le protocole I-LEACH à un rythme plus élevé que le protocole LEACH ordinaire, et il est bien connu que plus il y a de paquets envoyés, plus les nœuds épuisent leur énergie, et cela indique que le protocole I-LEACH dipose d'une technologie éfficace pour améliorer l'énergie et prolonger la durée de vie du réseau.

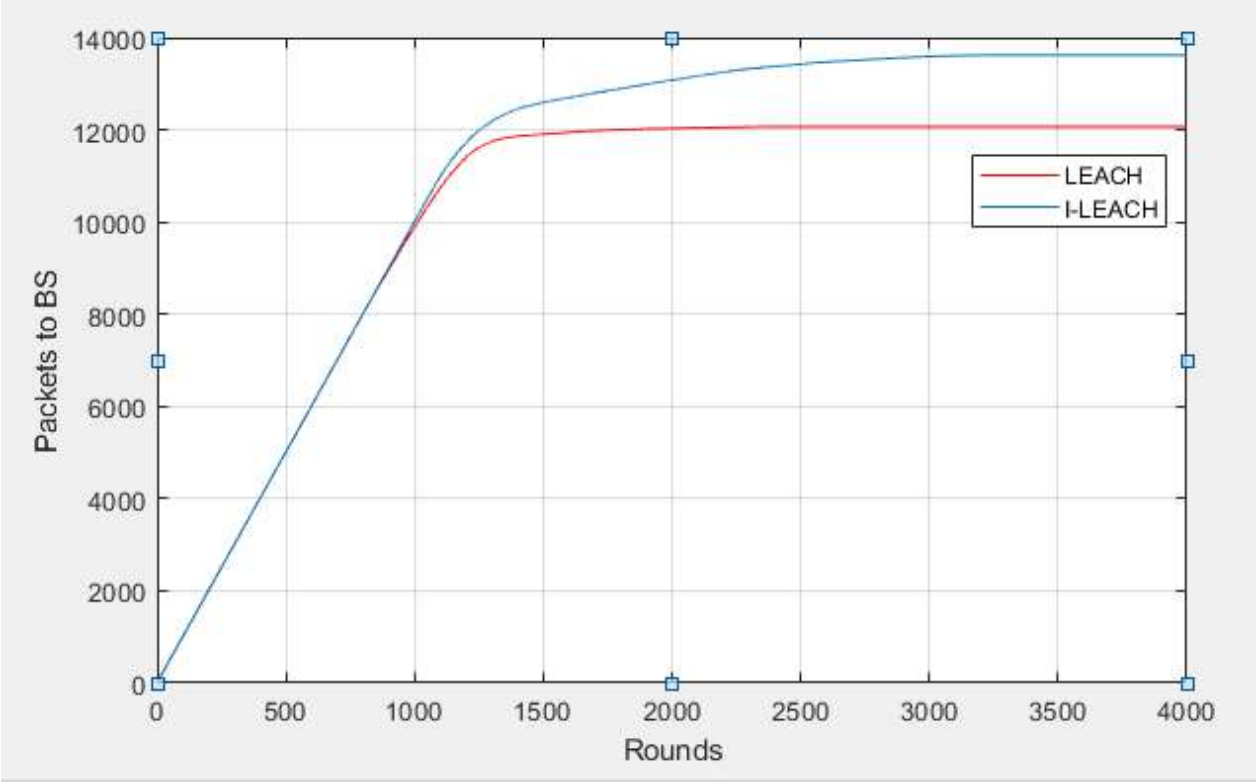


Figure III.18: Comparaison des paquets envoyés au BS

8. Conclusion

Nous savons que le protocole d'acheminement LEACH est utilise principalement l'algorithme de groupement pour calculer l'éfficacité énergétique du réseau, pour cela on a proposé dans ce chapitre le protocole I-LEACH qui est basé sur le protocole LEACH

classique. Nous avons analysé l'éfficacité énergétique en comptant le nombre de noeuds vivants et morts dans le réseau, L'analyse d'exécution a été faite en utilisent le logiciel MATLAB, les résultats indiquant que les noeuds restent vivants pour une longue durée dans le protocole I-LEACH par rapport au LEACH bassique. Par consequent, nous concluons que le I-LEACH est plus éfficace que LEACH basique.

Dans le protocole I-LEACH l'énergie résiduelle de noeuds joue un rôle éssentiel dans le choix des cluster-head, car le noeud qui a l'énergie résiduelle la plus grande deviant cluster-head, nous proposons une nouvelle formule pour trouver la valeur- seuil en utilisant l'énergie résiduelle du noeud. On diminue l'énergie consommé par le noeud pour envoyer les paquets des données et les recevoir dans chaque tour ce qui éxplique que les noeuds du protocole I-LEACH envoient les paquets à la station de base en quantité plus grande que dans LEACH bassique. Donc on déduit que le protocole qui on a proposé c'est le plus approrié pour économiser l'énergie et prologer sa durée de vie.

Conclusion Générale

Dans cette mémoire, nous avons exploré l'utilisation des réseaux de capteurs sans fil pour le suivi d'objets et l'estimation de mouvements. Nous avons décrit la révolution dans la communication sans fil et les techniques et protocoles importants de mise en œuvre sans fil. Dans la première chapitre, nous avons présenté une vue d'ensemble des réseaux de capteurs sans fil, et aussi, les caractéristiques théoriques et les contraintes du système. Dans le dexième chapitre nous avons présenté les architectures de réseau et les topologies de déploiement actuelles et possible. Dans le troisième chapitre, nous avons présenté une étude comparative entre les protocoles LEACH classique et I-LEACH (improved leach) que nous avons proposé.

Les réseaux de capteurs sans fil sont conçus pour extraire des informations cruciales lorsque l'intervention humaine n'est pas possible ou lorsque la précision est requise. L'inspection manuelle ne conduit pas à la précision. Le WSN joue donc un rôle essentiel dans les applications de collecte de données fiables et précises. Une consommation d'énergie inutile pourrait entraîner une réduction de la durée de vie du réseau. Mais il existe de nombreuses techniques qui sont conçues comme LEACH, LEACH-F, et LEACH-C etc. pour surmonter ce problème, mais elles sont limitées dans leur fonctionnalité. C'est pourquoi ce travail proposé est accompli en tant qu'amélioration possible du protocole LEACH classique, et donne ainsi un autre nom à ce protocole, à savoir le protocole I-LEACH. Dans ce protocole, les nœuds du cluster informent leurs têtes de cluster de leur statut unique. Ce protocole est extrêmement efficace en termes d'économie d'énergie. Ce protocole a modifié la méthode de mise en grappe en utilisant des paramètres d'hétérogénéité comme l'offre de nœuds avancés et l'inclusion d'un facteur énergétique supplémentaire pour aider le mécanisme de sélection de la mise en grappe.

Enfin, nous concluons notre étude du domaine des réseaux de capteurs sans fil en constatant qu'il s'agit d'une nouvelle technologie prometteuse. Elle pourrait être un moyen de réaliser l'informatique mondiale et l'Internet intégré. Elle semble être une solution efficace pour de nombreuses applications qui impliquent une surveillance approfondie d'un environnement de déploiement.

Bibliographie

[1] S. Harchi, “Un protocole de session dans les réseaux de capteurs sans fils Said Harchi To cite this version : HAL Id : tel-00961091 Said HARCHI,” 2014.

[2] S. Abdessamad and M. Wafa, “ Développement d’une application orientée surveillance pour les réseaux de capteurs sous Contiki**,**” vol. 2015, pp. 2014–2015, 2015.

[3] M. BARMATI and H.Youcffi , “ Proposition d’un protocole de routage efficace en énergie basée sur une approche inspirée de la nature dans un réseau de capteur sans fil,” 2018.

[4] K. Hamidatou and A. BOUHAMID “ Une nouvelle technique d’optimisation pour l ’ économie d’énergie dans le réseau de capteur sans fils, ” 2018.

[5] Z.Maouche and Y. Djermoune, “ Adaptation des architectures P2P pour les applications des réseaux de capteurs sans fil,” Mémoire de Fin de Cycle, 2017.

[6] F.BERKANI and L.HAMMOUI, “ Le routage hiérarchique sous contrainte d’énergie dans les réseaux de capteurs sans fil,” Mémoire de Master, U. A. M. De Béjaia, Algeria.

[7] P. Minist, E. Sup, R. S. Universit, S. Exactes, A. Sara, and M. K. Soutenu, “Proposition d’un protocole de routage,” 2017.

[8] L. Lynda, “ Routage avec conservation d’énergie dans les réseaux de capteurs sans fil,” 2016.

[9] CH.KAZITANI and W.BENHADDOUCHE, “ Implémentation et test d’un protocole de prévention de l’attaque Clone dans un réseau de capteurs sans fil,” pp. 2013–2014, 2014.

[10] B.DEBBAL et A.BENDIMERAD, “ Une nouvelle approche de clustering,” pp. 2018–2019, 2019.

[11] GHEBBI Sofiane, “ Conception d’un protocole de routage hiérarchique pour les réseaux de capteurs sans fil,” 2016.

[12] ZEROUALI .N, "LE ROUTAGE DANS LES RESEAUX DE CAPTEURS SANS FIL SOUS-MARINS," 2016.

[13] A.HAMOU and S. HARKATI, "La Gestion des Données dans les Réseaux de Capteurs sans Fil,". 2013.

[14] F.MOKRANI and A.ZAGHAR. “ La tolérance aux pannes dans les réseaux de capteur sans fil, ” 2016.

[15] Dame Diongue, " Optimisation centralisée et distribuée de la durée de vie dans les réseaux de capteurs sans fil".

[16] M. Boujelben, A. Boujelben, H. Youssef, and M. Abid, “La sécurité dans les réseaux de capteurs sans fils.”

[17] M. Sofiane, “Optimisation de la consommation d’énergie dans les réseaux de capteurs sans fil,” Master Recherche 2 en Informatique, IFSIC-Rennes, France, pp. 1–50, 2008.

[18] Y.BENABBASSI, “Application de la redondance pour la surveillance par réseau de capteurs sans fil : Cas du réseau de capteurs image sans fil,”, Pour l’obtention du diplôme de doctorat en sciences spécialité : Informatique, Univerdité d'oran, Algeria, 2014.

[19] A. Abdelhalim, and B. Mohammed, “Conception d’un algorithme de routage basé sur l’heuristique du recuit simulé pour les réseaux de capteurs à grande échelle Réalisé ”, Mémoire de fin d’études pour l’obtention du diplôme de Master en Informatique, Université Abou Bakr Belkaid– Tlemcen, Algeria, pp. 2012–2013, 2013.

[20] YAHIAOUI Nadira and TAFOUKT Meryem, “Routage à basse consommation d’énergie dans les réseaux de capteurs sans fil,” Master en Informatique, Université A.MIRA de Béjaıa, Algeria, 2012.

[21] Mehiaoui Amina, “ Etude comparative entre les deux protocoles de routage LEACH et PEGASIS dans les réseaux de capteurs sans fil, ”, mémoire fin d'étude, UNIVERSITE ABOU BEKR BELKAID ,TLEMCEN, Algeria, 2015.

[22] SAHRAOUI Belkheyr, “ La Géo-localisation dans les Réseaux de Capteurs sans Fil ” Mémoire de fin d’études, Université Abou Bakr Belkaid– Tlemcen, Algeria, pp. 2010–2011, 2011.

[23] M. Bouallegue, “Protocoles de communication et optimisation de l’énergie dans les réseaux de capteurs sans fil,”, Mémoire présenté en vue de l’obtention du grade de Docteur, l'Université du Maine, France, 2016.

[24] Assia BOUKHELKHAL and Soraya HOURIZI, “ Amélioration de performance des réseaux de capteurs sans fil « Etude et Sélection de Performance des trois Protocoles LEACH, LEACH-C et LEACH-H»”, Mémoire de Fin d'Études, Université DR. YAHIA FARES de médéa, Algeria, 2016-2017, 2017.

[25] Y. YOUNES, “Minimisation d’énergie dans un réseau de capteurs,”, mémoire de majister, UNIVERSITE MOULOUD MAMMERI DE TIZI-OUZOU, Algeria, p. 84, 2012.

[26] Bourebia Nour el houda and Bousnindja HESNA, “ Les protocoles de routage hiérarchiques. Etude de cas : LEACH et ses variants , Dans les réseaux de capteurs sans fil ”, Présenté pour l'obtention du diplôme de Master Académique, Université de JIJEL, Algeria, 2018-2019, 2019.

[27] A. Toudji and A. Dlimi, “Thème Une approche hybride pour conception d’un protocole de routage,”, Mémoire de fin d’étude, Université Ahmed Draia - Adrar, Algeria, 2017.

[28] S.Bouchelaghem, S.Ghebbi and M.Hamani, “Le protocole LEACH pour les réseaux capteurs sans fil” mémoire fin de cycle, université Béjaia, Algeria, vol. 15, no. 2, p. 83, 2013.

[29] G. Smaragdakis, I. Matta, and A. Bestavros, “SEP: A Stable Election Protocol for clustered heterogeneous wireless sensor networks *,” *2nd Int. Work. Sens. Actor Netw. Protoc. Appl.*, pp. 251–261, 2004, [Online]. Available: http://www.cs.bu.edu/techreports/pdf/2004-022-sep.pdf.

[30] H. Zhou, Y. Wu, Y. Hu, and G. Xie, “A novel stable selection and reliable transmission protocol for clustered heterogeneous wireless sensor networks,” *Comput. Commun.*, vol. 33, no. 15, pp. 1843–1849, 2010, doi: 10.1016/j.comcom.2010.06.001.

[31] Sarra MESSAI, “Thèse de Doctorat En Informatique Gestion de la Mobilité dans les Réseaux de Capteurs Sans Fil,”, Thèse de Doctorat, l'Université Ferhat Abbas Sétif 1 et l'Université Claude Bernard Lyon 1, Algeria, 2019.

[32] A. K. M. Shamiul Islam, Farhana Nasrin Bristy and Samira Alam, “Mobile Target Tracking Using Modified Leach-R Protocol in Wireless Sensor Networks,”, the degree of Bachelor of Science in Computer Science and Engineering, East West University Dhaka-1212, Bangladesh, 2017.