REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE YAHIA FARES DE MEDEA



Faculté de **T**echnologie

Département du génie électrique

Mémoire de fin d'études de Master

Filière : Télécommunications
Spécialité : Systèmes des télécommunications

Contribution à l'optimisation de la consommation d'énergie dans les WSNs

---

Présenté par :

M^{elle} BOUAZIZ Amel

M^{elle} BENALI Manel

Proposé et Dirigé par :

Mr. GUEDMANI Mohamed

Promotion 2019

Remerciements

Avant tout, nous remercions le bon Dieu de nous avoir aidés à accomplir ce modeste travail et qui nous 'a donné la force de mener à bien cette tâche.

Nous exprimons toutes nos gratitudes à notre encadreur Mr.GEDMANI MOHAMMED et Mr.bachene youcef Pour l'effort fourni, les conseils prodigués, sa patience et sa persévérance dans le suivi.

Nous adressons également nos remerciements, à tous nos enseignants, qui nous ont donné les bases de la science.

Nous remercions très sincèrement, les membres de jury d'avoir bien voulu accepter de faire partie de la commission d'examinateur.

Enfin, nous remercions toute personne ayant intervenue de près ou de loin à l'élaboration de ce travail

Merci Encore une autre fois

Dédicace

Je dédie ce modeste travail particulièrement à mes chers parents, qui ont consacré leur existence à bâti la mienne, pour leur soutien, patience et soucis de tendresse et d'affection pour tout ce qu'ils ont fait pour que je puisse arriver à ce stade.

Ensuite

A ma très chère sœur qui m'a encouragé durant toutes mes études ainsi que mes chers frères

A toutes les personnes de la famille BEN ALI

A mes amies, en particulier ma collègue du présent projet AMEL

A notre encadreur
M.GEDMANI Mohamed

Et à tous ceux qui nous ont soutenus pour l'achèvement de ce projet avec réussite

Manel

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail à :

A mes parents .Aucun hommage ne pourrait être à la hauteur de l'amour Dont ils ne cessent de me combler. Que dieu leur procure bonne santé et longue vie.

A celui que j'aime beaucoup et qui m'a soutenue tout au long de ce projet : A mon frère Mohamed Tayeb

A mes sœurs Roumaissa, Amina, Nesrine et Hadjer

À MES CHERS ONCLES, TANTES, LEURS EPOUX ET EPOUSES

A MES CHERS COUSINS COUSINES

A mes amies, mes collègues

A ma binôme Manel

A notre encadreur Mr.GUEDMANI Mohamed

Et à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin pour que ce projet soit possible, je vous dis merci

Amel

ملخص :

تتكون شبكة المستشعرات من عدد كبير من المستشعرات المنتشرة في المناطق المراد مراقبتها ، والتواصل مع بعضها البعض من خلال وسيط لاسلكي. يستهلك توجيه البيانات التي يتم جمعها في الشبكة معظم طاقة عقد الاستشعار. تحقيقًا لهذه الغاية ، تم اقتراح عدة طرق توجيه للحفاظ على مورد الطاقة على مستوى المستشعر والتغلب على التحديات الكامنة في الحد منه.

في هذا العمل ، نقترح تقنية جديدة لبروتوكول توجيه الطاقة المنخفضة لشبكات الاستشعار بناءً على نهج التجميع. تهدف مساهمتنا إلى تسخير طاقة العقد المحددة لرؤوس العنقودية بشكل أكثر إنصافًا ، وإلى توفير الطاقة التي تتبدد عند توجيه البيانات التي تم التقاطها في المحطة الأساسية. أظهرت نتائج المحاكاة أن بروتوكولنا يسمح بتقليل تبديد الطاقة وإطالة عمر الشبكة.

الكلمات المفتاحية : شبكات الاستشعار اللاسلكية ، بروتوكول التوجيه ، استهلاك الطاقة ، تقنيات التجميع ، التحسين.

Résumé :

Un réseau de capteur est composé d'un grand nombre de capteurs déployés dans des régions à surveiller, et communiquant entre eux à travers un médium sans fil. Le routage de données collectées dans le réseau consomme la plus grande partie d'énergie des nœuds capteurs. A cet effet, plusieurs approches de routage ont été proposées pour conserver la ressource énergétique au niveau des capteurs et pouvoir surmonter les défis inhérents à sa limitation. [LEH 14]

Dans ce travail nous proposons une nouvelle technique au protocole de routage à basse consommation d'énergie pour les réseaux de capteurs basé sur l'approche de clustering. Notre contribution vise à exploiter plus équitablement l'énergie des nœuds sélectionnés cluster-heads, et à économiser l'énergie dissipée lors de l'acheminement des données capturées à la station de base. Les résultats des simulations ont montré que notre protocole permet une réduction de la dissipation d'énergie et une durée de vie du réseau plus grande.

Mots clés : Réseaux de capteurs sans fil, Protocole de routage, Consommation d'énergie, Techniques de clustering, Optimisation.

Abstract:

A sensor network is composed of a large number of sensors deployed in regions to be monitored, and communicating with each other through a wireless medium. The routing of

data collected in the network consumes most of the energy of the sensor nodes. To this end, several routing approaches have been proposed to conserve the energy resource at the sensor level and to overcome the challenges inherent in its limitation.

In this work we propose a new technique to the low energy routing protocol for sensor networks based on the clustering approach. Our contribution is aimed at more equitably harnessing the energy of selected cluster-heads nodes, and at saving the energy dissipated when routing data captured at the base station. The results of the simulations showed that our protocol allows a reduction of the energy dissipation and a longer life of the network.

Keywords : Wireless Sensor Networks, Routing Protocol, Power Consumption, Clustering Techniques, Optimization.

Table des matières

LISTE DES FIGURES.....I

LISTE DES TABLEAU.....III
ABREVIATIONS.....IV

Introduction générale..... 1

CHAPITRE I : Généralités sur les réseaux des capteurs sans fil

I.1 Introduction 3
I.2 Définition d'un réseau de capteurs 3
I.3 Architecture d'un réseau de capteurs sans fil 4
I.4 Caractéristiques des RCSFs 5
I.4.1 Densité importante des nœuds 5
I.4.2 Topologie dynamique : 6
I.4.3 Auto organisation 6
I.4.4 Scalabilité (passage à l'échelle) : 6
I.5 Composition d'un nœud capteur sans fil : 6
I.5.1 schéma synoptique : 7
I.6 Facteurs et contraintes influents sur la conception et le déploiement de RCSF 11
I.6.1 Durée de vie du réseau 11
I.6.2 Ressources limitées 11
I.6.3 Facteur d'échelle : 12
I.6.4 Topologie dynamique : 12
I.6.5 Agrégation des données : 12
I.6.6 Formes de dissipation d'énergie 12
I.6.7 Module radio : 13
I.6.8 Sources de surconsommation d'énergie 14
I.6.9 Technologies et standards de communication 15
I.7. Les applications des RCSF : 16
I.7.1Contrôle de l'environnement : 16
I.7.2Militaire : 17
I.7.3 Santé : 18
I.7.4 Applications industrielles : 19
I.7.5 La sécurité des infrastructures: 19
I.8 Méthodes de placement des nœuds capteurs dans les RCSF 20
I.8.1 Placement aléatoire 20
I.8.2 Placement déterministe : 21
I.9 Problématiques : 21
I.10 Conclusion : 22

CHAPITRE II : Les protocoles de clusterisation et d'auto-organisation

II.1 Introduction : 23
II.2 Protocoles de routage dans les RCSF : 23
II.2.1 Routage à plat 24
II.2.2. Les protocoles géographiques 24
II.2.3 Les protocoles hiérarchiques : 25
II.3 Le protocole LEACH :(Low-Energy Adaptive Clustering Hierarchy) 28
II.3.1 Phase de configuration (setup phase) : 30
II.3.2 Phase de transmission (steady state phase): 32
II.3.3 Avantages et inconvénients du protocole LEACH : 33
II.3.4 Le modèle énergétique: 34
II.3. 5 Description du système 36
II.3.6 Exemples de protocoles d'auto-organisation hiérarchique inspiré de LEACH 38
II.4 Comparaison entre les protocoles LEACH, LEACH avancé, SEP et ZSEP : 42
II.5 Conclusion : 44

CHAPITRE III : Contribution à l'optimisation de la consommation d'énergie des protocoles d'auto-organisation

III.1 Introduction : 45
III.2 Notre contribution : 45
III.2.1 Amélioration du protocole SEP 45
III.2.2 Amélioration du Protocole Z-SEP (Zonal-Stable Election Protocole) 48
III.2.3 Analyse des résultats des simulations 50
III.2.4 Métriques utilisées 50
III.2.5 Résultats de simulation de protocole SEP avec station de base mobile (SEP-M) 51
III.2.6 Résultats de simulation du protocole ZSEP Modifié (ZSEP-M) 54
III.2.7 Comparaison entre les protocoles LEACH, SEP, SEP-M, ZSEP et ZSEP-M 56
III.3 Conclusion : 61
Conclusion générale 62
Bibliographie 63

Liste des figures

Figure I. 1 Réseau de capteurs sans fil 4
Figure I. 2 Architecture générale d'un réseau de capteurs sans fils 5
Figure I. 3 Schéma synoptique d'un nœud capteur. 7
Figure I. 4 Consommation d'énergie dans un nœud capteur. 9
Figure I. 5 Diagramme de transition entre les différents états d'activités d'un nœud capteur 14
Figure I. 6 Contrôle de l'environnement 17
Figure I. 7 Un service militaire utilisant les RCSF 18
Figure I. 8 Application des RCSF dans le domaine de la médecine 19
Figure I. 9 Quelques domaines d'application pour les RCSF 20
Figure II. 1 Classes de protocoles de routage 23
Figure II. 2 Le routage hiérarchique. 26
Figure II. 3 Cluster-based approach (approche à grappe). 27
Figure II. 4 Principe de Clusterisation dans LEACH. 29
Figure II. 5 Les deux phases d'exécution pour le protocole LEACH 30
Figure II. 6 La phase d'initialisation (set-up) 32
Figure II. 7 Répartition du temps dans la phase de transmission. 33
Figure II. 8 Modèle de radio. 35
Figure II. 9 Architecture de réseau SEP 39
Figure II. 10 Architecture de réseau Z-SEP. 41
Figure II. 11 Nombre de nœuds morts en fonction de Tours. 42
Figure II. 12 Energie résiduelle en fonction de Tours. 43
Figure II. 13 nombre de messages reçus par la station de base en fonction de Tours. 43
Figure III. 1 architecture de réseau ZSEP. 48
Figure III. 2 Le protocole ZSEP après la mort des nœuds normaux loin. 49
Figure III. 3 Le protocole ZSEP modifié. 50
Figure III. 4 Nombre de nœuds morts en fonction de rounds du SEP et SEP-M. 52
Figure III. 5 Energie résiduelles en fonction de rounds du SEP et SEP-M. 52
Figure III. 6 Nombre de messages en fonction de rounds du SEP et SEP-M. 53
Figure III. 7 Nombre de nœuds morts en fonction de rounds du ZSEP et ZSEP-M. 54
Figure III. 8 Energie résiduelles en fonction de rounds du ZSEP et ZSEP-M. 55
Figure III. 9 Nombre de messages en fonction de rounds du ZSEP et ZSEP-M. 55
Figure III. 10 Nombre de nœuds morts en fonction de rounds des protocoles étudiés. 56

Figure III. 11 Période de stabilité des protocoles étudiés. 57
Figure III. 12 Energie résiduelles en fonction de rounds des protocoles étudiés. 58
Figure III. 13 Energie consommée au point de stabilité. 58
Figure III. 14 Energie consommée par tour des protocoles étudiés. 59
Figure III. 15 Nombre de messages reçus en fonction de rounds des protocoles étudiés. 60
Figure III. 16 Quantité d'information reçue de chaque protocole. 60

LISTE DES TABLEAUX

Tableau I.1 Comparaison de quelques plates formes de nœuds capteurs…….....9
Tableau I.2 Comparaison entre les trois technologies IEEE802.11, Bluetooth et Zigbee……16
Tableau II.1 Les Paramètre de Simulation……..…….……37

Liste des abréviations

ADC: Analog to Digital Converters

ADV: Advertisment message

CDMA: Code Division Multiple Access

CH: Cluster Head

CTS : Clear To Send

GAF: Geographic adaptive fidelity

GEAR: geographic and energy-aware routing

GN: nœuds générales

GPS: Global Positioning System

LEACH: Low-Energy Adaptive Clustering Hierarchy

MAC: Medium Access Control

MATLAB: matrix laboratory

MECN: Minimum energy communication network

RCSF: réseaux de capteur sans fil

RSSI: Received signal strength indication

RTS: Request To Send

SEP: Stable Election Protocol

Sink (BS): station de base

SMECN: Small Minimum energy communication network

TDMA: Time Division Multiple Access

WSN: Wireless Sensor Network

Z-SEP: Zonal-Stable Election Protocole

Introduction générale

Introduction générale

Les réseaux de capteurs sans fil (Wireless Sensor Networks; WSN) sont considérés comme un type spécial de réseaux ad hoc, composés d'un grand nombre de capteurs matériellement petits, et placés généralement près des objets auxquels ils s'intéressent dans les environnements où ils sont déployés. Ces capteurs sont capables de récolter, traiter et acheminer les données environnementales de la région surveillée d'une manière autonome, vers des stations de collecte appelées nœuds puits ou stations de base [AKY 02, AKK 05].

Dans les réseaux de capteurs, la consommation d'énergie est une contrainte très cruciale puisque généralement les capteurs sont déployés dans des zones inaccessibles. Ainsi, il est difficile voire impossible de remplacer les batteries après leur épuisement. De ce fait, la consommation d'énergie au niveau des capteurs a une grande influence sur la durée de vie du réseau en entier. Il est donc impératif de mettre en place des protocoles de routage efficaces en énergie, et qui prennent en compte les contraintes imposées par ces capteurs. La majorité des travaux de recherche menés actuellement se concentrent principalement sur les moyens de réduire au minimum l'énergie consommée dans la communication de données de sorte à maximiser la durée de vie du réseau.

Dans ce projet, nous proposons une nouvelle approche de routage efficace en énergie, en adaptant des techniques de clustering pour l'élaborer. Le clustering consiste à partitionner le réseau en clusters. Les cluster-heads (CHs) sont désignés, soit par élection par les autres nœuds capteurs [HEI 00, YOU 04], sinon ils sont assignés par une autorité centralisée [HEI 02]; nœud puits par exemple. Les CHs sélectionnés assurent non seulement la gestion de leurs clusters et la collecte de données mais aussi la transmission de ces données collectées à la station de base.

Dans ce mémoire, notre contribution se concentre sur l'amélioration des protocoles de routage dont le but de traiter le problème de gestion d'énergie afin de maximiser la durée de vie du réseau. Pour cela, nous avons étudié les protocoles de routage hiérarchique et d'auto-organisation comme LEACH, SEP et ZSEP afin d'améliorer ces derniers pour atteindre notre objectif.

Ce mémoire est constitué de trois chapitres essentiels :

Chapitre1 : est consacré aux généralités sur les réseaux de capteur sans fils, leurs domaines d'utilisation et la problématique de ce domaine.

Chapitre 2 : dans ce chapitre on présente les protocoles de clustérisassions et d'auto-organisation qui gèrent la consommation et la répartition de l'énergie dans les WSNs.

Chapitre 3 : Dans ce dernier chapitre on présente notre contribution qui améliore les protocoles de routage hiérarchique et d'auto-organisation dans le but de réduire la consommation d'énergie et prolonger la durée de vie du réseau.

Notre travail sera finalisé par une conclusion générale.

CHAPITRE I : Généralités sur les réseaux des capteurs sans fil

I.1 Introduction

Grâce aux avancées technologiques de plusieurs secteurs des technologies de l'information, il devient aujourd'hui envisageable de produire en masse des systèmes d'une taille extrêmement réduite (de quelques centimètres) et embarquant des unités de calcul et de communication sans fil pour un coût réduit. Ayant ces caractéristiques, les nœuds capteurs sont capables de générer et d'échanger des données d'une manière autonome et complètement transparente pour les utilisateurs.

Les réseaux de capteurs représentent actuellement un nouveau domaine, en plein développement, émergeant des innovations des technologies de communication.

L'objectif de ce chapitre est de donner d'abord une vue générale sur les réseaux de capteurs sans fils, en présentant leurs architectures, domaines d'application et contraintes.

I.2 Définition d'un réseau de capteurs :

Un réseau de capteurs sans fil (RCSF**)** [LEH 06], [KAR 09] est un système distribué de grande échelle mettant en communication un grand nombre d'entités autonomes communément appelées « capteurs sans fil », ou simplement « capteurs ». Ces capteurs forment donc les nœuds du réseau.

Dans un scénario d'application classique, plusieurs nœuds capteurs sont déployés dans un certain environnement pour mesurer certains phénomènes physiques et faire remonter les informations collectées à une station de base, nommée le nœud puit (une porte d'entrée vers le monde extérieur qui fait l'interface entre le réseau de capteurs et l'utilisateur des données).

Dans le cas le plus simple, les capteurs seront dans le voisinage direct du puit (un réseau de type étoile à un saut). Cependant, dans le cas d'un réseau à grande échelle, les capteurs ne sont pas tous dans le voisinage du puit et les messages seront acheminés du nœud source vers le puit en transitant par plusieurs nœuds, selon un mode de communication multi-sauts comme l'illustre la Figure I-1.

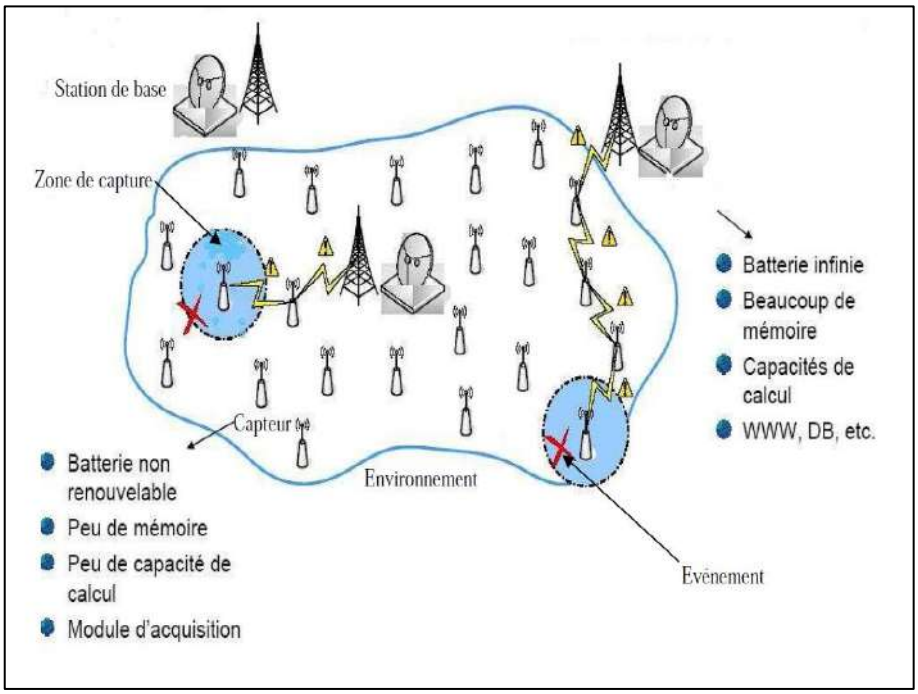


Figure I. 1 Réseau de capteurs sans fil [CHA 08]

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

Un réseau de capteurs est constitué essentiellement de plusieurs nœuds capteurs, un nœud Sink (station de base) et un centre de traitement des données [*CHA* 08]:

- Nœuds : ceux sont des capteurs, leur type, leur architecture et leur disposition géographique dépendent de l'exigence de l'application en question. Leur énergie est souvent limitée puisqu'ils sont alimentés par des piles.

- Sink (Station de base) : c'est un nœud particulier du réseau. Il est chargé de la collecte des données issues des différents nœuds du réseau. Il doit être toujours actif puisque l'arrivée des informations est aléatoire. C'est pourquoi son énergie doit être illimitée. Dans un réseau de capteur sans fils plus ou moins large et à charge un peu élevée, on peut trouver deux Sinks ou plus pour alléger la charge.

- Centre de traitement des données : c'est le centre vers lequel les données collectées par la station de base sont envoyées. Ce centre a le rôle de regrouper les données issues des nœuds et les traiter de façon à en extraire l'information utile et exploitable.

Le centre de traitement peut être éloigné du Sink, alors les données doivent être transférées à travers un autre réseau, c'est pourquoi on introduit une passerelle entre le Sink et le réseau de transfert pour adapter le type de données au type du canal (comme c'est illustré dans la Figure I-2.

Figure I. 2 Architecture générale d'un réseau de capteurs sans fils [CHA 08]

La Figure I-2 représente une architecture générale d'un RCSF où les nœuds capteurs transmettent leurs données vers un nœud Sink. Et puisque le centre de traitement des données est éloigné, les données sont acheminées via Internet, une passerelle est utilisée pour adapter le type des données au canal. La conception d'un réseau de capteurs, est influencée par beaucoup de facteurs, y compris les coûts de production, le passage à l'échelle, et l'environnement.

I.4 Caractéristiques des RCSFs [LEH 09] [ATH 10]:

Les principaux caractéristiques des réseaux de capteurs se résument dans ce qui suit :

I.4.1 Densité importante des nœuds :

Les réseaux de capteurs se composent généralement d'un nombre très important des nœuds pour garantir une couverture totale de la zone surveillée. Ceci engendre un niveau de

surveillance élevé et assure une transmission plus fiable des données sur l'état du champ de capteur.

I.4.2 Topologie dynamique :

La topologie des réseaux de capteurs instable est le résultat des trois facteurs essentiels suivants [MAH 14]:

- La mobilité des nœuds**:** les nœuds capteurs peuvent être attachés à des objets mobiles qui se déplacent librement et arbitrairement, introduisant ainsi une topologie instable du réseau.
- La défaillance des nœuds **:** du fait de l'autonomie énergétique limitée des nœuds, la topologie du réseau n'est pas fixée (les nœuds « morts » sont, d'un point de vue logique, simplement supprimés).
- L'ajout de nouveaux nœuds **:** de nouveaux nœuds peuvent facilement être rajoutés. Il suffit de placer un nouveau capteur qui soit dans la portée de communication d'au moins un autre nœud capteur du réseau déjà existant.

I.4.3 Auto organisation :

Dans un très grand RCSF, il n'est pas possible ni d'organiser la structure selon une approche centralisée (trop coûteuse en énergie), ni de préserver une structure de communication « à plat » (topologie adaptée aux petits réseaux dans laquelle tous les nœuds ont le même rôle et les mêmes caractéristiques), car plusieurs problématiques sont encore plus critiques avec le passage à l'échelle et la contrainte d'énergie. C'est pour cette raison, que dans les réseaux de capteurs, une stratégie d'auto-organisation doit être définie [BEN 07].

I.4.4 Scalabilité (passage à l'échelle) :

Les réseaux de capteurs peuvent contenir des centaines voire des milliers de nœuds capteurs. Un nombre aussi important engendre beaucoup de transmissions inter nodales et nécessite que le nœud station de base soit équipé d'une mémoire importante pour stocker les formations reçues.

I.5 Composition d'un nœud capteur sans fil :

I.5.1 schéma synoptique :

Les capteurs sont des dispositifs de taille extrêmement réduite avec des ressources très limitées, autonomes, capables de traiter des informations et de les transmettre, via les ondes radio, à une autre entité (capteurs, unité de traitements...) sur une distance limitée à quelques mètres [YOU 10].

Les réseaux de capteurs utilisent un très grand nombre de ces capteurs, pour former un réseau sans infrastructure établie. Un capteur analyse son environnement, et propage les données récoltées aux capteurs appartenant à sa zone de couverture. Chaque capteur relayant l'information sur sa propre zone de couverture, le réseau se trouve entièrement couvert.

Un capteur est composé de quatre unités de base (voir Figure I-3)

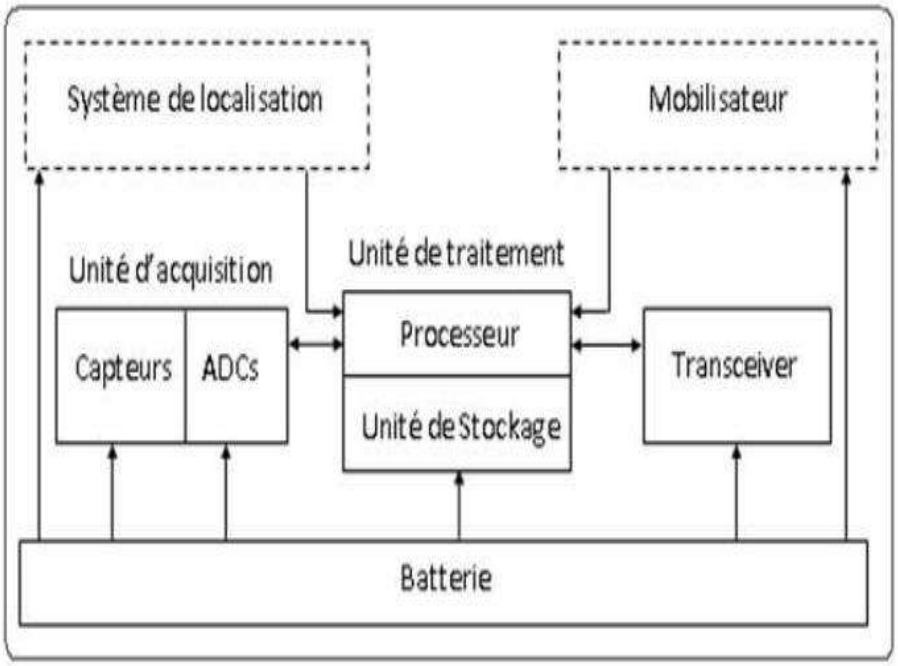


Figure I. 3 Schéma synoptique d'un nœud capteur [AYO 15].

a- L'unité d'acquisition des données: Elle est généralement composée de deux sous-unités : les capteurs et les convertisseurs analogique numérique (ADC: Analog Digital Converter en Anglais). Les capteurs permettent d'obtenir des mesures numériques sur les paramètres environnementaux et les transforment en signaux analogiques que les ADC convertissent à leur tour en signaux numériques.[NGO16]

b- L'unité de traitement : l'unité de traitement est composée de deux interfaces, une interface pour l'unité d'acquisition et une interface pour l'unité de transmission. Cette unité est également composée d'un processeur et d'un système d'exploitation spécifique. Elle acquiert les informations en provenance de l'unité d'acquisition et les envoie à l'unité de transmission. Les microcontrôleurs utilisés dans le cadre de réseaux de capteurs sans fil sont à faible consommation d'énergie. Leurs fréquences sont assez faibles, moins de 10 MHz pour une consommation de l'ordre de 1 mW. Une autre caractéristique est la taille de leur mémoire qui est de l'ordre de 10 Ko de RAM pour les données et de 10 Ko de ROM pour les programmes [HOL 05]. Outre le traitement des données, le microcontrôleur commande également toutes les autres unités notamment le système de transmission et gère les procédures et protocoles permettant la communication entre les nœuds.

c- Un module de communication (Transceiver) : est composée d'un émetteur/récepteur qui permet aux nœuds capteurs du réseau de pouvoir communiquer entre eux par l'intermédiaire de liaisons radio. Ainsi, elle effectue toutes les émissions et réceptions des données sur le support sans fil. Elle peut être de type optique ou de type radio fréquence. Notons que les supports de type optique sont robustes vis-à-vis des interférences électriques. Toutefois, ces supports ne pouvant pas établir de liaisons à travers des obstacles, ils présentent l'inconvénient d'exiger une vue directe entre les entités communicantes. En revanche, les unités de transmission de type radio fréquence comprennent des circuits de modulation, de démodulation, de filtrage et de multiplexage. Les caractéristiques de ces circuits peuvent ainsi avoir des incidences sur la complexité et le coût du nœud capteur. [NGO 16]

d- L'unité d'énergie : Elle permet d'alimenter les différentes unités énumérées du nœud capteur décrites ci-dessus. L'énergie fournie par les batteries des capteurs est l'une des ressources les plus précieuses dans un RCSF, parce qu'elle influe directement sur la durée de vie des nœuds capteurs et donc du réseau entier. La consommation énergétique des capteurs est donc un des critères fondamentaux qu'il faut tenir en compte dans la conception et de déploiement d'un RCSF donné.

La figure I-4 résume la consommation d'énergie dans les différentes unités d'un capteur.

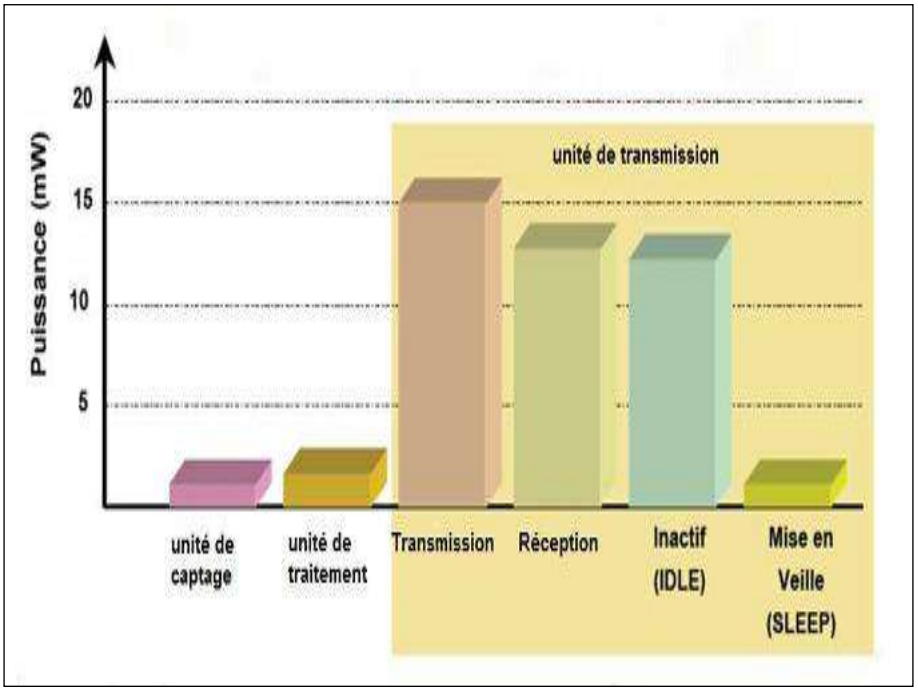


Figure I. 4 Consommation d'énergie dans un nœud capteur. [BOU 10]

On remarque que l'unité de transmission est très gourmande en consommation d'énergie. En effet la transmission d'un seul bit sur une distance de 100m consomme approximativement la même énergie que l'exécution de 3000 instructions. Toutefois, la mise en veille de la radio réduit de manière significative cette consommation.[MAH 14]

Il existe des capteurs qui sont dotés d'autres composants additionnels tels que les systèmes de localisation GPS (Global Position System) et un mobilisateur lui permettant le déplacement.

Tableau I. 1 Comparaison de quelques plates formes de nœuds capteurs [LOU 15].

Type de Nœud	**Telos** 	**Mica2** 	**SunSPOT** 	**Imote2** 

Type de Micro contrôleur	**8 Mhz, 8 bits**	**7.37 Mhz, 8 bits**	**180 Mhz, 32 bits**	**13-416 Mhz, 16 bits**
RAM	**2 Ko**	**4 Ko**	**512 Ko**	**256 Ko**
ROM	**256 Ko**	**512 Ko**	**4 Mo**	**32 Mo**
Bande passante	**250 Kbps**	**38.4 Kbps**	**250 Kbps**	**250 Kbps**
Capacité de la batterie	**Coin cell 1000 mAh**	**2xAA 5700 mAh**	**Rechargeable 750 mAh**	**3xAAA 3750 mAh**
Portée maximale (m)	**100**	**150-300 m**	**100**	**100**
Radio	**Chipcon CC2420 2.4GHz 250 Kbps IEEE 802.15.4**	**Chipcon CC1000 315/433/33/868/91 6 Mhz 38.4 Kbauds**	**Chipcon CC2420 2.4GHz 250 Kbps IEEE 802.15.4**	**Chipcon CC2420 2.4GHz 250 Kbps IEEE 802.15.4**

Système d'exploitation	**TinyOS**	**TinyOS**	**Squawk (Machine virtuelle Java)**	**TinyOS**
Connexion au PC	**Port série**	**Carte de programmation**	**Interface USB**	**Interface USB**

I.6 Facteurs et contraintes influents sur la conception et le déploiement de RCSF :

I.6.1 Durée de vie du réseau [NGO 16]:

Dans notre cas d'étude, nous considérons la durée de vie d'un RCSF comme étant liée à l'activité nodale. Donc la durée de vie du RCSF est définie comme étant la durée pendant laquelle le réseau assure toutes les fonctionnalités du réseau (couverture, connectivite, etc.), c'est-à-dire, la durée de vie RCSF mesure dans ce cas, le temps qui s'écoule entre le début de la mise en service du réseau jusqu'à ce que le premier nœud de celui-ci devienne défaillant, et par la suite ne soit plus fonctionnel. Soit M = {S_1, S2,..., S_N} l'ensemble des nœuds d'un RCSF donné, et soit Si M un nœud capteur donné dont la durée de vie est égale à T_i. Si nous posons T_n la durée de vie du RCSF, alors elle est donnée par :

$$T_n = \min_{Si \in M} T_n \qquad (I.1)$$

I.6.2 Ressources limitées :

Compte tenu de leurs petites tailles et leurs faibles coûts, les nœuds capteurs ont plusieurs limitations telles que des capacités énergétiques de stockage et de traitements limitées, de faibles capacités de détection et de communication. En effet, les rayons de détection et de communication des capteurs varient généralement entre des dizaines de mètres et des centaines de mètres. **[**NGO 16**]**

I.6.3 Facteur d'échelle :

Plusieurs applications des RCSF exigent généralement un déploiement très dense des nœuds capteurs. Ainsi, le nombre de nœuds déployés pour certaines applications peut être

supérieur à des milliers. Ce déploiement dense a pour conséquence des surcharges réseaux très importantes. Par conséquent, les protocoles de communication doivent garantir les fonctionnalités du réseau quel que soit l'importance de la charge. **[**NGO 16**]**

I.6.4 Topologie dynamique :

A l'instar des réseaux Ad hoc, les topologies des RCSF sont souvent très dynamiques. Ces changements topologiques sont généralement causés par les contraintes liées à la défaillance des nœuds capteurs, à celles liées à l'environnement de déploiement des capteurs souvent hostile ou inaccessible et aux mobilités possibles des nœuds. **[**NGO 16**]**

I.6.5 Agrégation des données :

L'absence de planification du déploiement souvent dense des nœuds dans les RCSF peut engendrer des topologies de couvertures redondantes. Dans ce cas, plusieurs capteurs voisins peuvent capturer des mesures qui sont très proches (spatialement et temporairement), et les envoyer en même temps à la station de base. Ainsi, cette dernière peut recevoir des données redondantes via plusieurs sources différentes. Plusieurs protocoles de communication (de niveaux MAC et routage) permettent à la station de base ou à des nœuds intermédiaires de faire l'agrégation de données reçues via des sources différentes avant de les envoyer. Ces techniques peuvent ainsi réduire la charge des données transmises et la consommation énergétique dans l'ensemble du réseau. Les techniques d'agrégation sont généralement utilisées dans les architectures centralisées basées sur le clustering. Dans ce cas les CH sont chargées d'agréger si nécessaire les données reçues via leurs nœuds membres avant leurs transmissions à la station de base. **[**NGO 16**]**

I.6.6 Formes de dissipation d'énergie [ALL 14] :

Le but d'un réseau de capteurs est de surveiller une zone, prendre des mesures et de les faire remonter vers un certains nœuds qui sont en mesure de relayer l'information à l'utilisateur final. Pour cela, les capteurs déployés utilisent leur énergie pour réaliser trois actions principales : la capture, le traitement des données captées et la communication (émission/réception). Dans ce qui suit, nous allons détailler ces trois formes de dissipation d'énergie.

I.6.6.1 Énergie de capture :

La capture est effectuée par les composants d'acquisition qui traduisent les phénomènes physique en signal électrique. La consommation d'énergie du module de détection dépend de la spécificité du capteur. Dans de nombreux cas, elle est négligeable par rapport à l'énergie consommée par les modules de traitement et communication. L'énergie consommée lors de la capture peut être réduite en utilisant des composants à faible consommation d'énergie. Une autre façon de réduire l'énergie consommée lors de la capture consiste à réduire la durée de capture et supprimer les captures jugées redondantes et inutiles.

I.6.6.2 Energie de traitement

L'énergie consommée durant le traitement des données peut être divisée en deux parties : l'énergie de commutation et l'énergie de fuite. L'énergie de commutation est déterminée par la tension d'alimentation et la capacité totale commutée au niveau logiciel (en exécutant un programme). Par contre, l'énergie de fuite correspond à l'énergie consommée lorsque l'unité de calcul n'effectue aucun traitement. En général, l'énergie de traitement est faible par rapport à celle nécessaire pour la communication.

I.6.6.3 Energie de communication :

L'énergie de communication (réception/émission) représente la plus grande proportion d'énergie totale consommée au niveau d'un nœud capteur. Cette énergie est fonction de la quantité des données à communiquer, la distance de transmission et les propriétés physiques du module radio. L'émission d'un signal est caractérisée par sa puissance. Quand la puissance d'émission est élevée, le signal aura une grande portée et l'énergie consommée sera plus élevée.

I.6.7 Module radio :

Pour assurer la communication entre les éléments du réseau, les capteurs utilisent leurs modules radio. Ce module est le composant qui consomme le plus d'énergie. Il opère dans quatre modes de fonctionnement : actif, émission, réception et sommeil.

- **Mode actif :** le nœud capteur n'est ni en train de recevoir ni de transmettre. Cet état provoque une perte de l'énergie suite à l'écoute inutile du canal de transmission.

- **Mode émission :** la radio transmet un paquet.

- **Mode réception :** la radio reçoit un paquet.

- **Mode Sommeil :** la radio est mise hors tension.

La transition entre ces différents états induit une énergie appelée énergie de transition même si elle est relativement faible par rapport à d'autres formes de dissipation énergétique du capteur. [NGO 16][ALL 14]

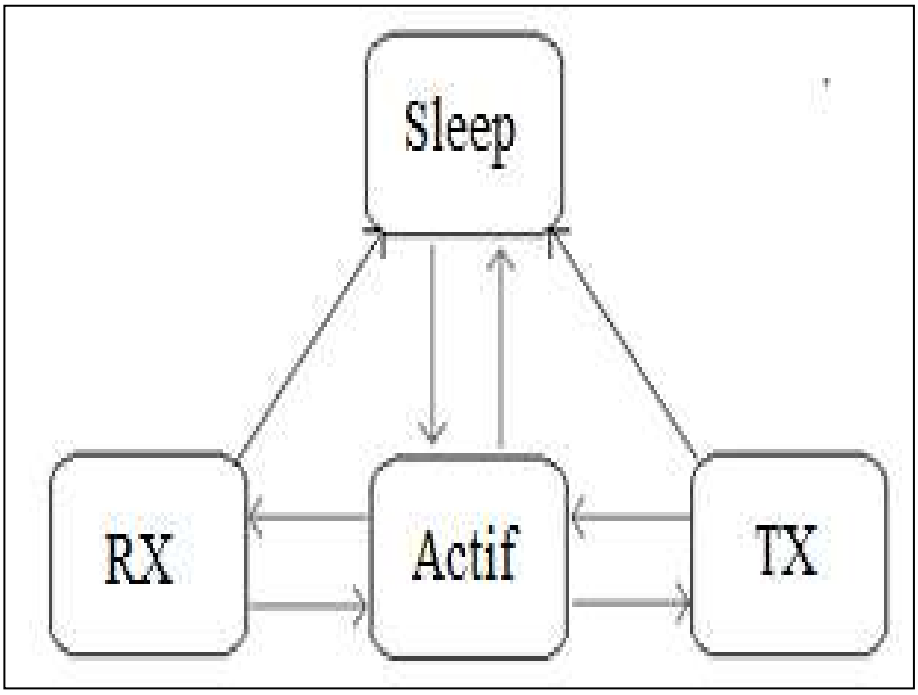


Figure I. 5 Diagramme de transition entre les différents états d'activités d'un nœud capteur [NGO 16]

I.6.8 Sources de surconsommation d'énergie [ALL 14] :

Dans ce qui suit, nous allons présenter les principales causes de consommation d'énergie au niveau de la couche MAC.

- **La retransmission :** Les nœuds capteurs partagent le même canal de transmission. Par ailleurs, la transmission simultanée des données provenant de plusieurs capteurs peut produire des collisions et ainsi une perte de l'information transmise. L'information perdue doit être retransmise, ce qui consomme davantage l'énergie.

- L'écoute active : L'écoute au canal de communication pour recevoir un éventuel paquet peut engendrer une perte importante de l'énergie des nœuds. Pour éviter ce problème, il faut chavirer les nœuds dans le mode sommeil le plus longtemps possible.

- La sur-écoute (overhearing) : Le phénomène de sur-écoute se produit quand un nœud reçoit des paquets qui ne lui sont pas destinés. La sur-écoute conduit à une perte d'énergie additionnelle à cause de l'implication des autres capteurs dans la réception des données.

- La surcharge (overhead) : Généralement, les protocoles MAC s'échangent de message de contrôle pour assurer les différentes fonctionnalités telles que : la signalisation, la connectivité et l'établissement d'un plan d'accès pour éviter les collisions. Tous ces messages échangés nécessitent une énergie additionnelle. Par exemple, les trames de contrôle RTS/CTS (Request To Send/ Clear To Send) ne véhiculent aucune informations alors que leurs transmission consomme de l'énergie.

- La surémission : il s'agit du phénomène où le nœud capteur envoie les données à un destinataire qui n'est pas prêt à les recevoir. Ces données envoyées inutilement consomment une énergie additionnelle considérable.

- La taille des paquets : La taille des paquets échangés dans le réseau a un effet sur la consommation d'énergie des nœuds émetteurs et récepteurs. Ainsi, la taille des paquets ne doit être ni trop élevée ni trop faible. En effet, si elle est petite, le nombre de paquets de contrôle (acquittement) générés augmente l'overhead. Dans le cas contraire, une grande puissance de transmission est nécessaire pour des paquets de grande taille.

I.6.9 Technologies et standards de communication [BOU 08]

Pour assurer la communication sans fil entre les nœuds d'un réseau de capteur, un certain nombre de modalités de communication peuvent être employées. Par exemple: la radio, la lumière diffusée, le laser...etc.

Parmi les standards les plus aptes à être exploités dans les réseaux de capteurs on retrouve : WIFI (IEEE 802.11), Bluetooth (IEEE802.15.1 and .2), ZigBee (IEEE 802.15.4).

Tableau I. 2 Comparaison entre les trois technologies IEEE802.11, Bluetooth et Zigbee

Technologie	WIFI	Zigbee	Bluetooth
IEEE	802.11a/b/g	802.15.4	802.15.1
Besoins mémoire	1 Mb +	4 - 32 Kb	250 Kb +
Autonomie avec pile	Heures	Années	Jours
Vitesse de transfert	11-54 et + Mb/s	250 KB/s	1 Mb/s
Portée	300 m	100 m	10-100 m

I.7. Les applications des RCSF :

Le déploiement rapide des RCSFs autonomes a faible prix, même sur une très grande échelle géographique, a été la source d'émergence de plusieurs applications différentes en termes des besoins et des caractéristiques. On cite ci-dessous les principaux domaines d'application des RCSFs

I.7.1Contrôle de l'environnement :

Dans ce domaine, les capteurs peuvent être exploités pour détecter les catastrophes naturelles (feux de forêts, tremblements de terre, …), traquer les mouvements des animaux et surveiller les conditions d'environnement qui affectent les récoltes, les stocks et tout autre système d'agriculture

Figure I. 6 Contrôle de l'environnement [OUA 09].

I.7.2Militaire :

Pour les services de sécurité, la détection de dangers chimiques, etc. ...

- La surveillance des munitions et des équipements militaires.
- L'évaluation des dommages.
- La connaissance de la position de ses propres soldats.
- Repérage des cibles

Figure I. 7 Un service militaire utilisant les RCSF [YOU 12].

I.7.3 Santé :

Cette technologie consiste en la surveillance de la température, la fréquence cardiaque, l'oxygénation du sang et le pouls du patient,…etc.

- repérage et surveillance des médecins et des patients dans les hôpitaux;
- télésurveillance des données physiologiques humaines.

Par exemple :

On peut placer sur le corps d'un patient des capteurs qui surveille constamment sa température, sa fréquence cardiaque, l'oxygénation du sang et son pouls.

Un émetteur-récepteur transmet les données à une station de base branchée à un ordinateur personnel ou poste des soins infirmier ou même à un assistant numérique.

Figure I. 8 Application des RCSF dans le domaine de la médecine [YOU 12].

I.7.4 Applications industrielles :

Pour gérer la circulation, la direction d'un objet, la lumière, etc.

Par exemple :

Contrôle de la pollution : On pourrait disperser des capteurs au-dessus d'un emplacement industriel pour détecter et contrôler des fuites de gaz ou de produits chimiques. Ces applications permettraient de donner l'alerte en un temps record et de pouvoir suivre l'évolution de la catastrophe.

I.7.5 La sécurité des infrastructures:

Les RCSF est un candidat prometteur pour assurer la sécurité des bâtis stratégiques contre toute attaque à caractère terroriste. En effet, un réseau de caméras vidéo, capteur acoustiques ou autres types de capteurs peuvent être déployés facilement autour de ces bâtiments pour détecter toute intrusion en temps record et avec une précision imbattable.

Le grand nombre de capteurs réduit énormément les fausses alertes grâce à une fusion d'informations; les nouveaux capteurs peuvent également détecter les attaques d'ordre biologique, chimique ou nucléaire [SOH 07].

Figure I. 9 Quelques domaines d'application pour les RCSF [YOU 12].

I.8 Méthodes de placement des nœuds capteurs dans les RCSF

Le placement des nœuds capteurs dans une zone d'intérêt n'est pas obligatoirement déterminé en amont dans la conception et de déploiement d'un RCSF donné. Ainsi, les nœuds peuvent être placés aléatoirement dans la zone d'intérêt ou placés de façon déterministe. Les méthodes de placement des nœuds dépendent généralement du type d'application et du type d'environnement où ils sont déployés. Il existe deux méthodes de placement des nœuds dans les RCSF qui sont le placement aléatoire et le placement déterministe.

I.8.1 Placement aléatoire :

La méthode de placement aléatoire est généralement utilisée pour le déploiement de nœuds capteurs dans des zones inconnues, difficiles d'accès ou inaccessibles (zone de bataille, montagne, atmosphère, etc.). Dans ce cas, les nœuds peuvent être déployés à l'aide de divers moyens, par exemple via des avions, des bateaux, etc. Cependant, ces méthodes de placement aléatoires nécessitent généralement des techniques fréquentes de contrôle de la topologie et de reconfiguration des nœuds dans le but de garantir la stabilité du réseau et d'assurer une transmission efficace des données.

I.8.2 Placement déterministe :

Dans le cas où l'environnement de déploiement des capteurs est accessible ou connu, les nœuds peuvent être placés de façon déterministe. Dans ce cas, les nœuds peuvent être placés à des positions fixes et connues en utilisant un système de coordonnées 2D ou 3D. Cependant, pour beaucoup d'applications des RCSF qui exigent un déploiement optimal des nœuds dans la zone de surveillance, il est nécessaire d'étudier et de planifier la méthode de déploiement adéquate lors de la conception et le déploiement du RCSF. En effet, la méthode de déploiement influe grandement sur la performance d'un RCSF [NGO 16].

I.9 Problématiques :

Pour réaliser des systèmes capables de fournir de telles applications, un certain nombre d'obstacles doivent être levés. Les plus importants sont : [KEC 10]

- **La topologie dynamique :** La mobilité des nœuds, la possibilité d'étendre le réseau par ajout de nouveaux nœuds et la suppression de nœuds défaillants changent fréquemment la topologie des réseaux. Ceci nécessite une maintenance permanente pour assurer le bon fonctionnement des réseaux de capteurs.
- **L'environnement :** Les nœuds capteurs doivent être conçus d'une manière à résister aux différentes et sévères conditions de l'environnement : forte chaleur, pluie,...etc.
- **La consommation d'énergie :** Un capteur, de par sa taille, est limité en énergie. Dans la plupart des cas, le remplacement de la batterie est impossible, ce qui veut dire que la durée de vie d'un capteur dépend de la durée de vie de sa batterie. Les recherches actuelles se concentrent principalement sur les moyens d'optimiser la consommation d'énergie par les nœuds capteurs.
- **Le routage** : Pour obtenir une consommation énergétique minimale.

Tous ces thèmes sont des domaines de recherche actifs. Dans la suite, nous nous intéresserons plus particulièrement aux problèmes de la gestion et la consommation d'énergie dans le but d'augmenter la durée de vie du réseau par les protocoles d'auto-organisation.

I.10 Conclusion :

La flexibilité, le prix réduit et les caractéristiques rapides de déploiement des réseaux de capteurs offrent des possibilités infinies de développement dans tous les domaines d'application. Ceci nous permet de penser que les réseaux de capteurs feront bientôt partie intégrante de nos vies et satisferont sûrement les plus grands projets.

Cependant, la réalisation des réseaux de capteurs doit satisfaire quelques contraintes parmi lesquelles on peut citer : la consommation d'énergie, le changement de topologie, la densité importante des nœuds réseaux... Ces contraintes exigent qu'une auto-organisation des réseaux de capteurs soit mise au point.

Dans ce chapitre, nous avons fait un état de l'art sur les RCSF en décrivant leurs fonctionnements, leurs caractéristiques, leurs domaines d'applications. Les architectures et les modèles de communications sont également abordés.

Nous nous intéressons, Dans le deuxième chapitre de ce projet, à la présentation des différents principes et objectifs de l'auto-organisation basé sur la Techniques de clusterisation qui assure le routage des données et la gestion et la conservation de l'énergie afin de prolonger la durée de vie du réseau.

CHAPITRE II : Les protocoles de clusterisation et d'auto-organisation

II.1 Introduction :

Les protocoles de routage à plat fonctionnent bien quand le réseau ne comprend pas un grand nombre de nœuds. La structuration d'un réseau est un des outils principaux pour sauvegarder l'énergie dans chaque nœud du réseau, ce qui aboutit à prolonger la vie du système. Une des structures les plus connues est la hiérarchie. La technique de hiérarchisation sert à partitionner le réseau en sous-ensembles afin de faciliter la gestion du réseau surtout le routage, qui se réalise à plusieurs niveaux. Dans ce type de protocoles, la vue du réseau devient locale ; des nœuds spéciaux peuvent avoir des rôles supplémentaires. La littérature comprend plusieurs contributions dans les techniques de hiérarchisation du réseau ainsi que plusieurs d'autres protocoles ont été inspirés de la hiérarchisation telle que SEP et ZSEP qui seront détaillés dans cette section.

II.2 Protocoles de routage dans les RCSF :

La section structure du réseau présente trois classes principales de protocoles de routage dédiés aux RCSF, à savoir les protocoles utilisant le routage plat, le routage géographique ou le routage hiérarchique qui sont représenté dans la figure [MOU 16]

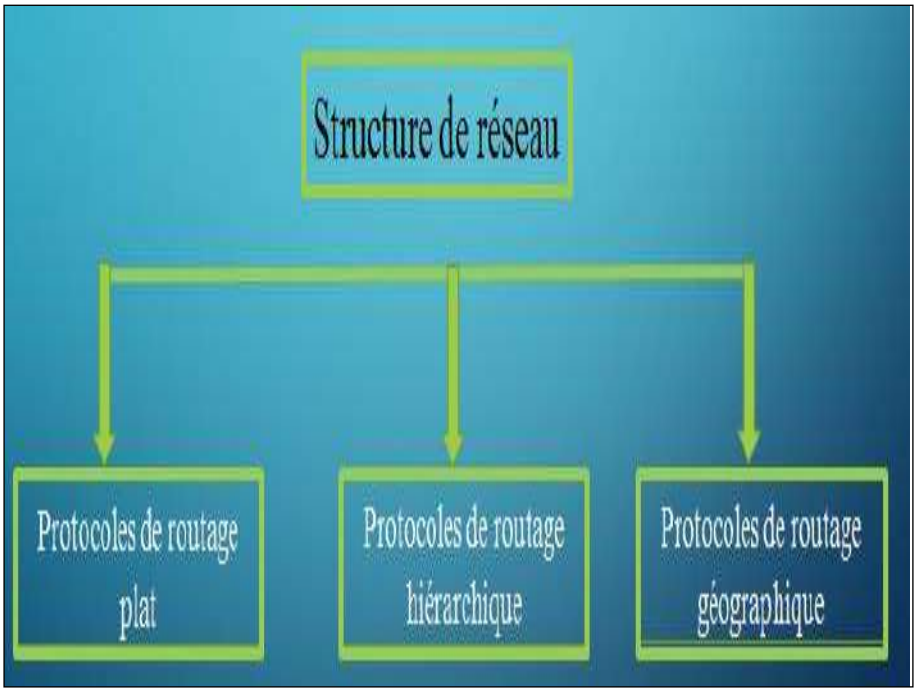


Figure II. 1 Classes de protocoles de routage. [MOU 16]

II.2.1 Routage à plat [MOU 16]

Dans une structure plate du réseau, les nœuds jouent le même rôle et coopèrent ensemble pour réaliser la capture et le routage des données. En raison du grand nombre de nœuds, il n'est pas possible d'assigner un identificateur global à chaque nœud, de ce fait le routage centré donné a vu le jour. Dans ce type de routage, la station de base propage généralement ses requêtes dans tout le réseau, chaque requête possède la forme suivante : « Trouver moi des données qui satisferont certaines condition ». La station de base attend par la suite les données requises auprès des capteurs localisés dans les régions de capture sélectionnées par ces requêtes. On peut citer comme exemple :

- **FLOODING :**

La technique du FLOODING (inondation) est un mécanisme classique où chaque nœud capteur transmis, par diffusion les paquets reçus à ses voisins même si ces derniers ont déjà reçu ces paquets d'une autre source ; les données seront diffusées de la même façon jusqu'à ce que le réseau soit inondé. La technique de FLOODING est une technique réactive qui ne nécessite pas une maintenance couteuse de la topologie du réseau, elle utilise des algorithmes simples pour la découverte des routes. Cette simplicité mène à un majeur inconvénient qui est la redondance ou la duplication des paquets. Le protocole gaspille de l'énergie, en envoyant des copies du même paquet à un même nœud, ce qui ne réduit en rien la perte de l'énergie.

La technique de FLOODING ne prend pas en compte les ressources d'énergie disponibles. Cependant, la diffusion des messages continue après la réception de ces derniers par la station de base. En effet, seul le nœud destinataire sait qu'il a reçu le message ; il y a donc un gâchis de la bande passante et des dépenses d'énergie inutiles.

II.2.2. Les protocoles géographiques: [BOU 08]

Dans ce type de routage, les nœuds capteurs sont adressés en fonction de leurs localisations. La distance entre les nœuds voisins peut être estimée sur la base des forces entrantes de signal. Des coordonnées relatives des nœuds voisins peuvent être obtenues en échangeant une telle information entre les voisins. Alternativement, la location des nœuds peut être disponible directement en communiquant avec un satellite en utilisant GPS (système de positionnement global).

Dans la plupart des protocoles de routage, l'information sur la localisation des nœuds est nécessaire afin de calculer la distance entre deux nœuds particuliers de sorte que la consommation d'énergie puisse être estimée. On peut mentionner parmi ces protocoles :

- **MECN et SMECN :**

MECN (Minimum energy communication network) utilise le GPS à basse puissance. L'idée principale est de trouver un sous réseau, qui aura moins de nœuds et qui exige moins de puissance pour la transmission entre deux nœuds particuliers quelconques. SMECN (Small MECN) est une extension de MECN. Le sous- réseau construit par SMECN est probablement plus petit (en terme de nombre d'arcs) que celui construit par MECN

- **GAF :**

GAF (Geographic adaptive fidelity) conserve l'énergie par la mise en veille des nœuds inutiles dans le réseau sans affecter le niveau de fidélité du routage. Il forme une grille virtuelle pour le domaine couvert. Chaque nœud emploie sa position indiquée par le GPS pour s'associer à un point dans la grille virtuelle. Des nœuds liés au même point sur la grille sont considérés équivalents en termes de coût de routage. Une telle équivalence est exploitée en maintenant quelques nœuds, situés dans un secteur particulier de la grille, dans l'état de sommeil afin d'économiser de l'énergie.

- **GEAR** (geographic and energy-aware routing):

L'idée est de restreindre le nombre d'intérêts dans la diffusion dirigée en considérant seulement certaines régions plutôt que d'envoyer les intérêts au réseau tout entier.

Le routage géographique suppose que tous les nœuds connaissent leur position. Une solution basée sur le GPS peut être trop coûteuse, d'autant plus que le nombre de nœuds à équiper est très grand.

II.2.3 Les protocoles hiérarchiques :

Le routage hiérarchique est considéré comme étant l'approche la plus favorable en termes d'efficacité énergétique. Il se base sur le concept (nœud standard – nœud maître) où les nœuds standard acheminent leurs messages à leur maître, lequel les achemine ensuite dans le réseau tout entier via d'autres nœuds maîtres jusqu'à la station de base (sink).

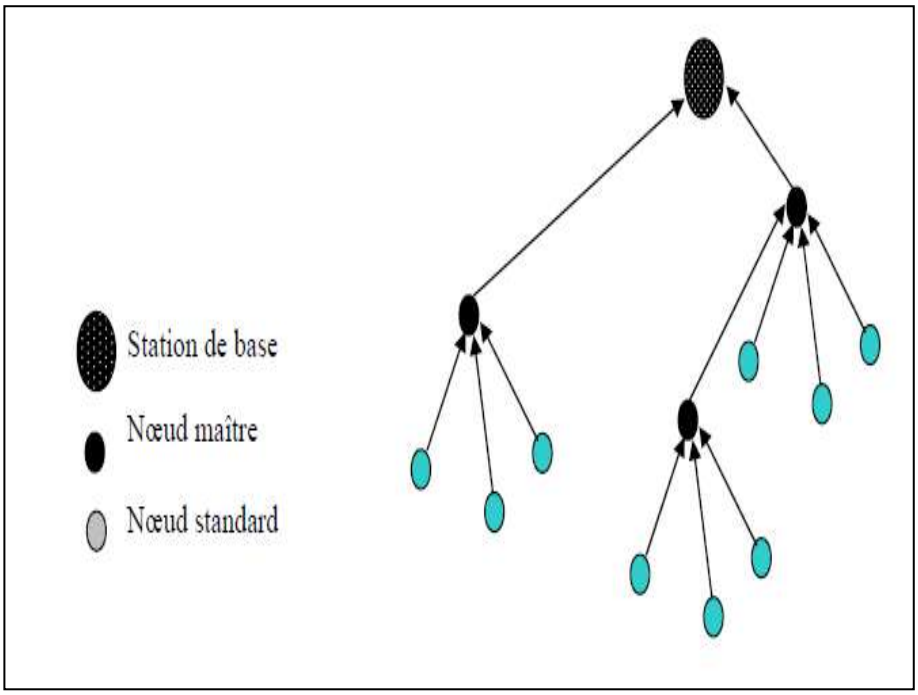


Figure II. 2 Le routage hiérarchique.

Le point fort de ce type de protocoles est l'agrégation et la fusion des données afin de diminuer le nombre de messages transmis au sink, ce qui implique une meilleure économie d'énergie. En fait, deux grandes approches sont dérivées de ce type de protocoles à savoir : chaîne-based approach (approche chaînée) et cluster-based approach (approche à grappe).

II.2.3.1 Approche à grappe (Cluster-based approach) :

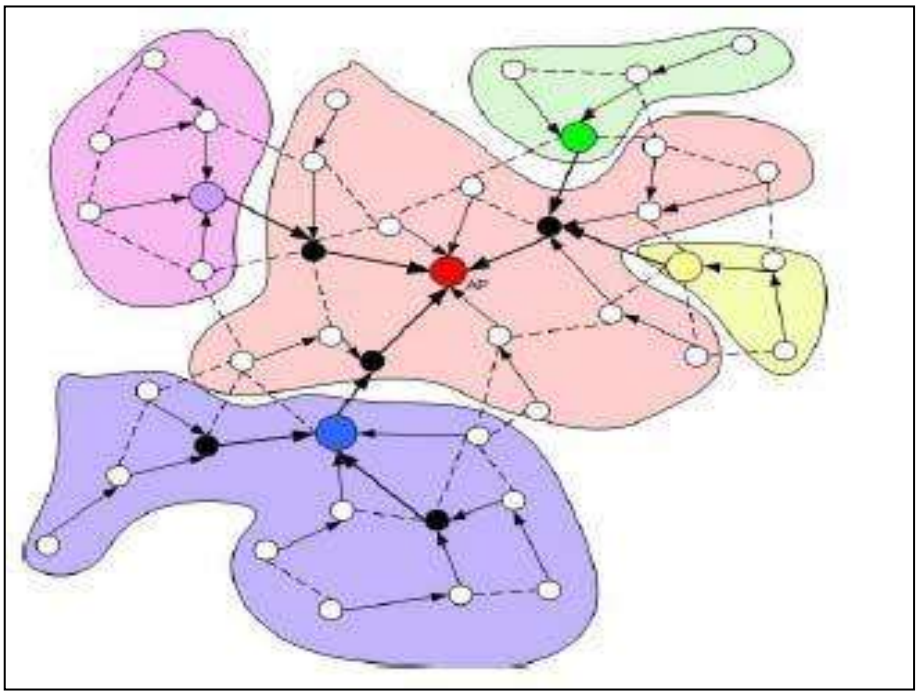


Figure II. 3 Cluster-based approach (approche à grappe).

Elle consiste, de façon similaire aux réseaux téléphoniques cellulaires, à partitionner le réseau en groupes (clusters) où dans chacun d'entre eux, un seul capteur est sélectionné comme leader (Cluster Head) pour jouer le rôle spécial de point de transfert. D'ailleurs, chaque CH créé un plan de transmission pour les capteurs dans la grappe, ce qui permet aux antennes radio de chaque nœud non-CH d'être éteintes toutes les fois, excepté pendant son temps de transmission. Les nœuds dont l'énergie est la plus élevée peuvent être employés dans le traitement et l'envoie d'informations tandis que ceux de basse énergie peuvent être employés dans la collection de données.

L'agrégation des capteurs en grappes permet de réduire la complexité des algorithmes de routage, d'optimiser la ressource médium en la faisant gérer localement par un chef de grappe, de faciliter l'agrégation des données, de simplifier la gestion du réseau, en particulier l'affectation d'adresses, d'optimiser les dépenses d'énergie, et enfin de rendre le réseau plus évolutif (scalable). Le clustering permet aux nœuds d'effectuer des communications sur de petites distances avec leurs CHs.

La rotation des CHs s'avère également un facteur important pour l'organisation des réseaux de capteurs. Puisque la BS (station de base ou sink) est généralement loin du champ des capteurs, les CHs diffusent une quantité plus importante d'énergie pour la transmission de données à la BS. Par conséquent, les CHs mourront rapidement si le même nœud fonctionne continuellement comme un CH. Ainsi, pour ne pas puiser la puissance de batterie d'un capteur simple, les algorithmes de groupement (clustering) étudiés jusqu'ici présentent la rotation de CHs parmi les capteurs.

II.3 Le protocole LEACH :(Low-Energy Adaptive Clustering Hierarchy)

LEACH est un protocole auto-organisateur basé sur le clustering adaptatif. Il a été l'un des premiers protocoles hiérarchiques à base de cluster. Le principe de LEACH consiste à diviser le réseau en deux niveaux : les Cluster Head (CH) et les nœuds membres ou générales (GN) [SAB 12].

Le protocole LEACH utilise la rotation randomisée pour la sélection des CH, pour une répartition uniforme de la charge énergétique entre tous les nœuds du réseau.

LEACH est fondé sur deux hypothèses de base :

• Tous les nœuds du réseau sont homogènes et limités en énergie.

• La station de base est fixe et est placée loin des capteurs.

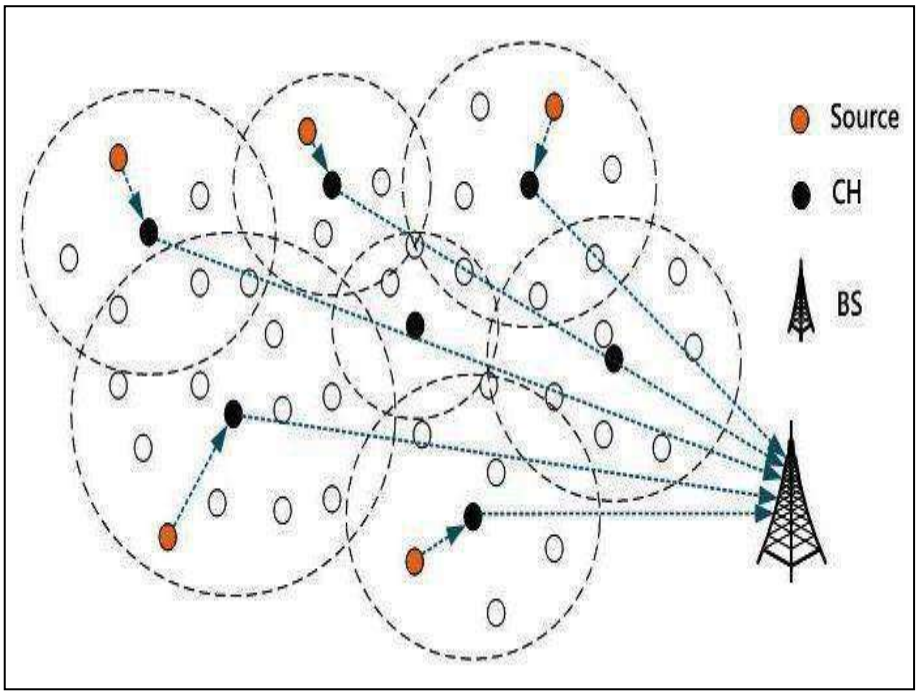


Figure II. 4 Principe de Clusterisation dans LEACH. [BOU 08]

LEACH est basé sur un algorithme de clustering distribué. C'est un protocole conçu pour le routage dans les réseaux de capteurs homogènes où les capteurs ont les mêmes caractéristiques et les mêmes capacités. Dans LEACH, les cluster-heads sont choisis aléatoirement et communiquent directement avec la station de base ce qui permet de minimiser la consommation et réduire la quantité d'informations envoyées à la station de base.

Le protocole s'exécute en plusieurs cycles (ou rounds). Chaque round est composé de deux phases : la phase de configuration ou d'initialisation (setup phase) et la phase de transmission (steady state phase). Le round est composé de plusieurs frames, ces derniers à ses tours son composées de slots [OUA 09].

Setup phase ou La phase de transmission est plus longue et consomme plus d'énergie par rapport au la phase de configuration (set-up phase). La figure suivante montre les deux phases d'exécution d'un round pour le protocole LEACH :

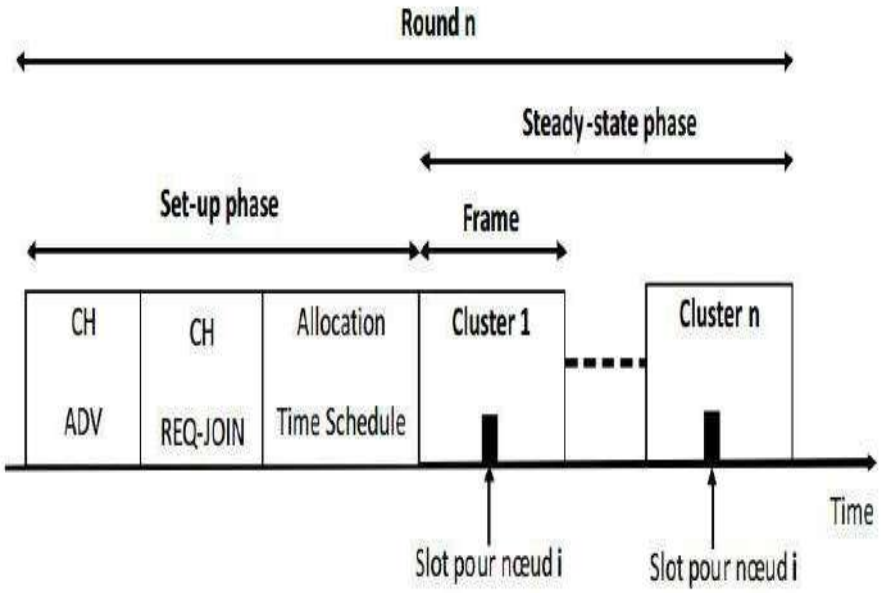


Figure II. 5 Les deux phases d'exécution pour le protocole LEACH [AYO 15].

II.3.1 Phase de configuration (setup phase) :

Lors de la première phase, les clusters sont formés et les CHs sont sélectionnées. Cette sélection se base sur deux paramètres significatifs : le cycle (round) actuelle et le nombre des CHs désiré où chaque nœud prend une valeur aléatoire entre 0 et 1. Si la valeur choisie est inférieure seuil au *T(n)*, le nœud devient CH.

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

Avec :

• ***P :*** pourcentage désiré de CHs.

• n : numéro de nœuds donné.

• ***r :*** round actuelle.

• ***G :*** ensemble des nœuds qui n'ayant pas été sélectionné comme CH durant les (1/P) derniers rounds.

Chaque CH élu diffuse un message d'avertissement (ADV-CH) sur le réseau pour annoncer les nouveau CHs. Chaque nœud (GN) non-CH et après avoir reçu les messages d'avertissement choisi le cluster ou le CH approprié (le plus proche) afin de le rejoindre. Cette sélection se base sur la force de signal des messages reçus (RSSI). Par la suite, chaque nœud non-CH informe le CH du cluster choisi par l'envoie d'une requête d'appartenance (JOIN-REQ) [AYO 15].

Après la réception des messages de joindre de tous les membres du cluster, le CH créer une suite temporelle (table TDMA), afin d'allouer à chaque nœud membre du cluster le slot de temps approprié quand il peut transmettre.

La technique de multiplexage utilisé dans LEACH pour l'accès au medium est le : TDMA.

Le principe de cette technique consiste à allouer la totalité de la bande passante au nœud pendant un slot time donné. Chaque CH joue le rôle du coordinateur pour contrôler les transmissions des membres grâce à l'envoie préalable du table TDMA aux membres du leur cluster. Donc cela, permet que chaque membre du cluster connaisse leur slot de temps qu'il va occuper, et de passera l'état dormi (*sleep)* pendant les slots inactifs... La figure II.6 illustre un diagramme qui résume la première phase de l'algorithme :

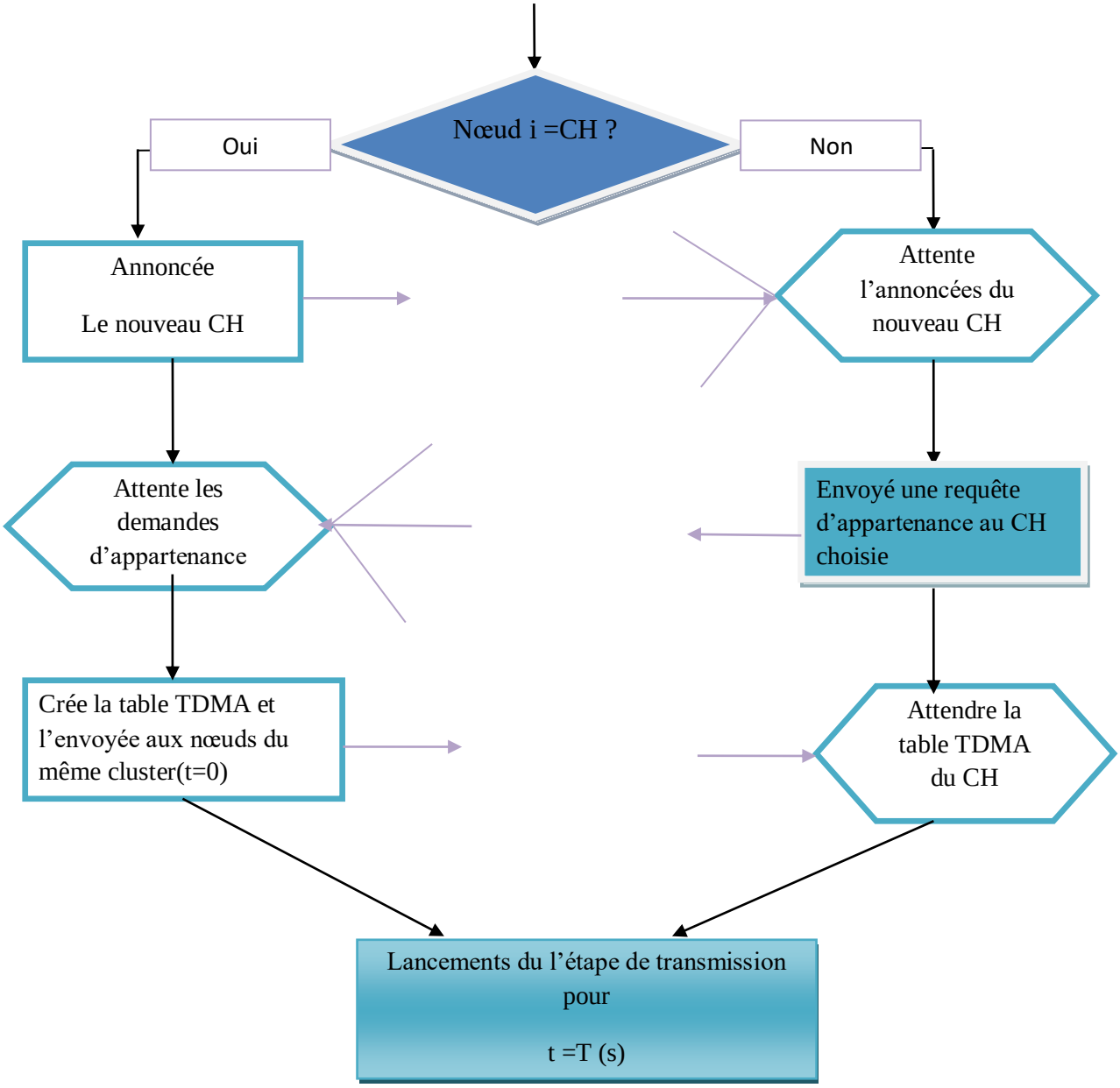


Figure II. 6 La phase d'initialisation (set-up). [BOU 08]

II.3.2 Phase de transmission (steady state phase):

Chaque nœud membre (non-CH) dans le cluster transmit les données collectées à son CH. Et après le CH effectuer une opération d'agrégation puis une autre opération de compression de toutes ces données afin de l'envoyer à la station de base (BS). La durée de la deuxième phase est plus longue que celle de la première phase afin de réduire au minimum les problèmes d'oveheading.

Après un intervalle de temps donné, une rotation randomisée du rôle du CH est conduite de sorte que la dissipation uniforme d'énergie dans le réseau de capteurs soit obtenue. Les auteurs ont trouvés, en se basant sur leur modèle de simulation, qu'un faible taux a besoin d'agir comme CH. [SAB 12]

LEACH utilise la technique de multiplexage CDMA pour que les CH envoient les données à la station de base, où la communication inter-cluster aura lieu. La communication peut être directe (un seul saut) ou indirecte (multi-sauts).

Un nouveau round aura lieu après la fin de cette phase, Ce processus est répété jusqu'à ce que tous les nœuds du réseau soient élus CH, une seule fois, tout au long des rounds précédents. Dans ce cas, le round est réinitialisé à 0.

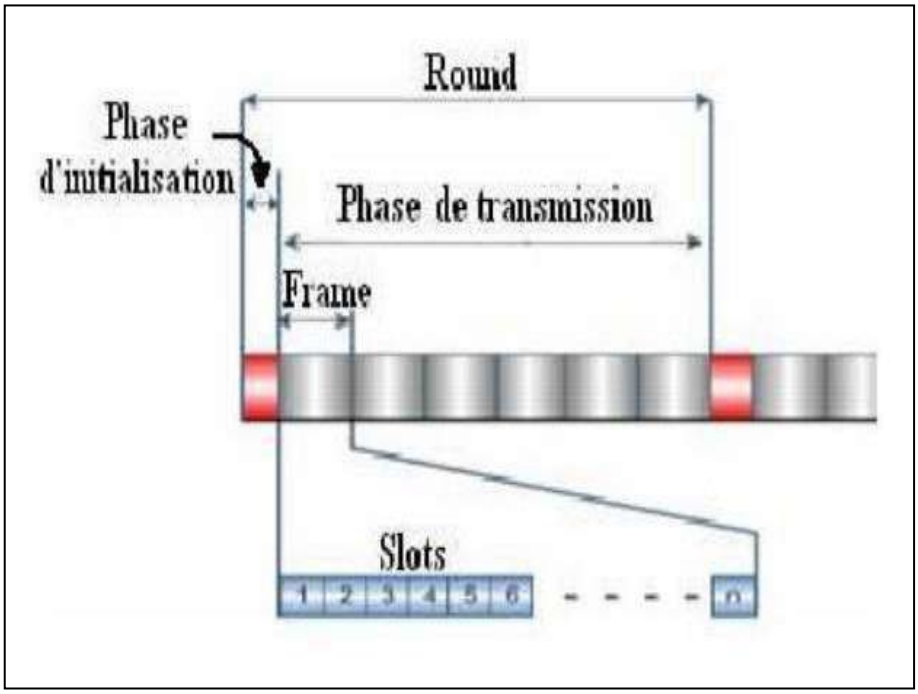


Figure II. 7 Répartition du temps dans la phase de transmission. [AYO 15]

II.3.3 Avantages et inconvénients du protocole LEACH :

Avantage:

- Puisque chaque nœud transmet des données durant son slot, le taux de collision est diminué.
- Lorsqu'un nœud n'est pas dans son slot, il éteint sa radio pour conserver son énergie.

- L'auto-configuration des clusters se fait indépendamment de la station de base (algorithme distribué).
- Les données sont fusionnées pour réduire la quantité d'informations transmise vers la station de base.
- La consommation d'énergie est partagée sur l'ensemble des nœuds prolongeant ainsi la durée de vie du réseau.
- L'utilisation des techniques TDMA/CDMA permet d'avoir une hiérarchie et de réaliser des clusterings sur plusieurs niveaux.

Inconvénients :

- L'apparition des nœuds isolés. Un nœud isolé est un nœud qui ne se trouve pas dans la table TDMA (ne possède pas une tranche de temps (*slot time)* pour envoyer leur donnée à la station de base). Pour cela ce nœud isolé doit transmettre leurs données directement à la station de base. Cette transmission directe exige une forte consommation d'énergie qui conduite à la diminution de la durée de vide du réseau.
- Les CHs les plus éloignés de la station de base meurent rapidement par rapport à ceux qui sont proches de la station.
- L'idée de formation des clusters augmente le nombre de messages échangés entre les nœuds, qui peuvent diminuer le gain dans la consommation d'énergie.
- Les nœuds les plus éloignés du CH meurent rapidement par rapport à ceux plus proches.

II.3.4 Le modèle énergétique:

Le modèle d'énergie du protocole LEACH est le 1er modèle de la couche radio comme il est illustré par la figure II.8, ce modèle prend en considération que le WSN doit avoir les propriétés suivantes :

1- Nœud capteur ne peut pas se déplacer après le déploiement.
2- Chaque nœud de capteur ayant le même type, de même énergie.
3- La station base est en dehors du réseau de capteurs sans fil

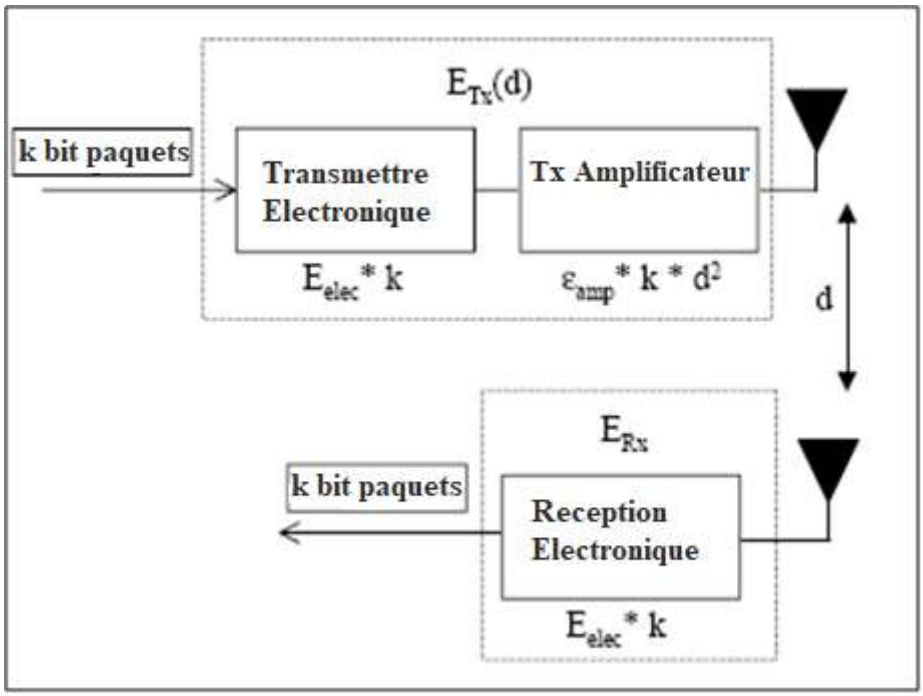


Figure II. 8 Modèle de radio.

L'énergie consommée pour transmettre un message de taille **k (bit)** sur une distance **d(m)** est:

$$E_{TX}(k, d) = \begin{cases} E_{elec} * k + \varepsilon_{FS} * k * d^2 & \text{Si } d <= d0 \\ E_{elect} * k + \varepsilon_{AMP} * k * d^4 & \text{Si } d > d0 \end{cases} \quad \text{(II.2)}$$

- L'énergie consommée pour recevoir un message de taille **k (bit)** est:

$$E_{RX}(k, d) = E_{elect} * k.$$

Avec **:**

E_{elec} : est la consommation d'énergie du circuit de transmission et de réception d'un bit.

ε_{FS} : est le facteur d'amplification du signal pour une distance d'émission inferieur ou égale à la distance seuil d0.

ε_{Amp} : est le facteur d'amplification du signal pour une distance supérieure à d0.

$$d_0 = \sqrt{\frac{\varepsilon_{FS}}{\varepsilon_{amp}}}$$

(Cette distance seuil d_0 est nommée encore dans quelques références $d_{\text{cross over}}$ (Cross over distance))

II.3. 5 Description du système :

Notre système représenté sur une zone carré de longueur L (surface de déploiement L*L) comportant une station de base qui recevra des données capturées et de N de nœuds capteurs déployés aléatoirement sur cette zone Ce réseau est caractérisé par :

- **Homogène :** un réseau homogène est constitué par un seul type de nœuds (nœuds normaux)
- **Hétérogène:** un réseau hétérogène est constitué par deux types de nœuds à des caractéristiques techniques semblables [MAH 14].
    - Le 1er type : constitué par **m*n** nœuds appelés nœuds avancés (Advanced ondes).
    - Le 2eme type : constitué par **(1-m)*n** nœuds appelés nœuds normaux.

Avec **n** : Le nombre total des nœuds du réseau ;

m : La fraction (Pourcentage) des nœuds avancés

L'énergie initiale:

- L'énergie initiale d'un nœud normal est égale à **E0**
- L'énergie initiale d'un nœud avancé est égale à **E0 (1+a)**

Avec **a** : Le facteur supplémentaire d'énergie entre un nœud normal et nœud avancé

- **Non uniforme:** Les nœuds du réseau sont déployés d'une manière aléatoire sur la zone de captage;
- **Statique:** les nœuds et la station de base sont immobiles durant toutes les simulations.

Le tableau suivant résume l'ensemble des paramètres utilisés pour les simulations :

Tableau II.1 Les Paramètres de Simulation.

Paramètres	**Valeur**
Le nombre des nœuds Total (n)	100
Surface de Déploiement (L*L)	100*100 m^2
L'énergie initiale des capteurs E0	0.5J
Fraction des nœuds avancé m	0 pour LEACH 0.3 pour LEACH-AV, SEP et ZSEP 0.9 pour SEP-M 0.84 pour ZSEP-M
Facteur supplémentaire d'énergie a	0 pour LEACH 1 pour LEACH-AV, SEP et ZSEP 0.3333 pour SEP-M 0.35714 pour ZSEP-M
La position de la station de base	Mobile pour SEP-M X=50m, Y=50m pour les autres protocoles

La taille des messages de donnée	4000 bits
Le cout de transmission d'un paquet ETX	50 nJ/bit
Le cout de réception d'un paquet **ERX**	50 nJ/bit
Le cout d'agrégation d'un paquet **EDA**	5 nJ/bit
Efs le facteur d'amplification du signal pour d<d0	10 pJ/bit/m^2
Emp le facteur d'amplification du signal pour d>d0	0.0013 pJ/bit/m^2
La probabilité d'être CH(P)	0.1
Le nombre des rounds 'tours' (**r** max)	6000

II.3.6 Exemples de protocoles d'auto-organisation hiérarchique inspiré de LEACH

Plusieurs protocoles ont été inspirés du protocole LEACH citons par exemple le protocole LEACH avancé, SEP et ZSEP.

II.3.6.1 LEACH avancé

Le protocole LEACH avancé est le même que le protocole LAECH, il est conçu pour les réseaux hétérogènes où le réseau est composé de deux types de nœuds : **m*n** nœuds avancés à énergie initiale est égale à $\mathbf{E_0}$ **(1+a),(1-m)*n** nœuds normaux à énergie initiale est égale à $\mathbf{E_0}$**.** [REH 13]

II.3.6 .2 Le Protocole SEP (Stable Election Protocol) :

SEP est un algorithme efficace en consommation d'énergie pour les réseaux de capteurs hétérogène (composé de nœuds normaux et de nœuds avancés)basé sur les groupes (cluster). Ce protocole est similaire à LEACH avancé ou hétérogène, dans lequel les cluster-heads de clusters élus collectent les données à partir de tous les nœuds capteurs appartenant à leur groupe, agrègent les données rassemblées par des procédures de fusion, et transmettent ces données directement à la station de base.

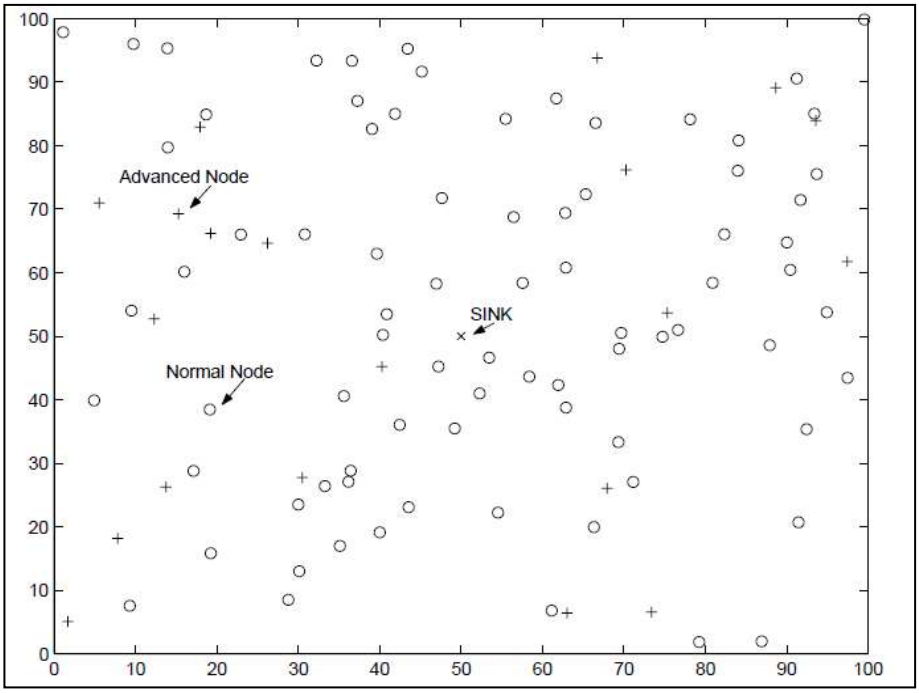


Figure II. 9 Architecture de réseau SEP. [SMA 04]

Les cluster-heads de groupes élus demeurent ainsi pour une période de temps appelée tour « round ». Au début de chaque tour, chaque nœud détermine la possibilité d'être un cluster-head (chef) de cluster pendant la période en cour, s'il décide de l'être, il annonce sa décision à

tous ses nœuds voisins. Les autres nœuds qui décident de ne pas être un cluster-head de cluster, se joignent à l'un des cluster-head élus après avoir reçu leur décision.

Les cluster-heads de grappes (clusters) sont sélectionnés périodiquement en se basant sur l'énergie résiduelle initiale du nœud, et comme le réseau hétérogène est composé de deux types de nœuds : **m*n** nœuds avancés à énergie initiale est égale à $\mathbf{E_0}$ **(1+a),**

(1-m)*n nœuds normaux à énergie initiale est égale à $\mathbf{E_0}$**. [REH 13]**

SEP utilise la même stratégie que LEACH pour l'organisation de réseau, mais adopte une approche différente pour l'élection des cluster-heads. Durant cette étape, SEP utilise deux pourcentages des cluster-heads sur le réseau [SMA 04]:

Un pourcentage pour les nœuds avancés $\boldsymbol{P_{ADV}}$

Un pourcentage pour les nœuds normaux $\boldsymbol{P_{NOR}}$**,**

Avec : $\mathbf{P_{NOR} = P_{Opt} / (1+a*m)}$

$\mathbf{P_{ADV} = P_{Opt} *(1+a) / (1+a*m)}$

$\mathbf{P_{Opt}=0.1}$ dans notre cas.

Donc l'objectif visé par le protocole SEP est : Les nœuds avec une grande énergie résiduelle à plus de chance de s'élire cluster-head **($\mathbf{P_{NOR}<P_{ADV}}$).**

II.3.6 .3 Protocole Z-SEP (Zonal-Stable Election Protocole) :

C'est un réseau hybride dans lequel certains nœuds transmettent des données directement à la BS et d'autres nœuds transmettent des données à la BS par l'intermédiaire de CH. Dans ce réseau, les nœuds sont divisés sur trois zones: zone 0, zone de tête 1 et zone de tête 2, avec deux niveaux d'énergie pour les nœuds normaux et les nœuds avancés sur n nœuds normaux. Les nœuds avancés se situent loin de la station de base et sont répartis de manière égale dans les deux zones de tête. Les nœuds normaux se trouvent à proximité de la station de base, comme indiqué dans la figure ci-dessous. [GHA 14]

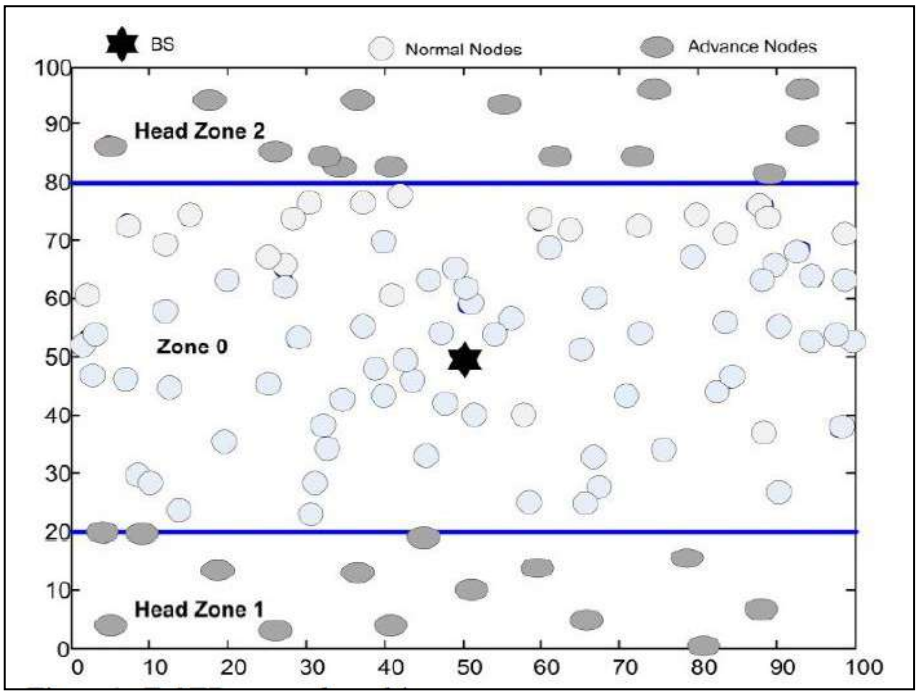


Figure II. 10 Architecture de réseau Z-SEP. [GHA]

Il consiste à partitionner le réseau hétérogène en trois zones sur la base des niveaux d'énergie et coordonnée Y de domaine de réseau voir l'exemple de la figure

- Les nœuds normaux sont déployés aléatoirement dans la zone Z0 comprise entre 20<Y<=80.
- La moitié des nœuds avancés sont déployés de manière aléatoire dans la zone Z1, se trouvant entre 0<Y<=20.
- La moitié des nœuds avancés sont déployés de manière aléatoire dans la zone Z2, située entre 80<Y<=100.

La raison derrière ce type de déploiement des nœuds est que les nœuds avancés sont déployés dans les coins ou bien les endroits les plus éloignés dans le réseau afin d'utiliser leur énergie supplémentaire pour la communication avec la station de base.

Le protocole Z-SEP utilise deux techniques pour transmettre des données à la station de base :

- Communication directe : les nœuds dans la zone Z0 envoient leurs données directement à la station de base.

- Transmission par les nœuds CHs : les nœuds dans les zones Z1 et Z2 transmettent leurs données à la station de base à travers l'algorithme de clustering utilisé par le protocole LEACH. [FAI 12]

II.4 Comparaison entre les protocoles LEACH, LEACH avancé, SEP et ZSEP :

Nous présentons dans cette section une comparaison entre les trois protocoles vus dans la littérature, ces résultats sont obtenus par une simulation sous MATLAB qui nous offre les courbes de stabilité, l'énergie totale consommée par les nœuds du réseau et le nombre des paquets de données envoyés à la station de base.

Ces résultats montrent clairement que les recherches sur l'amélioration du protocole de clustérisassions et d'auto-organisation LEACH ont apporté des performances très remarquables d'un protocole à l'autre en ce qui concerne la prolongation de durée de vie et la réduction de la consommation de l'énergie totale de réseaux.

Avec : m=0 et a=0 pour le protocole LEACH

Et m=0.3 et a=1 pour les autres protocoles

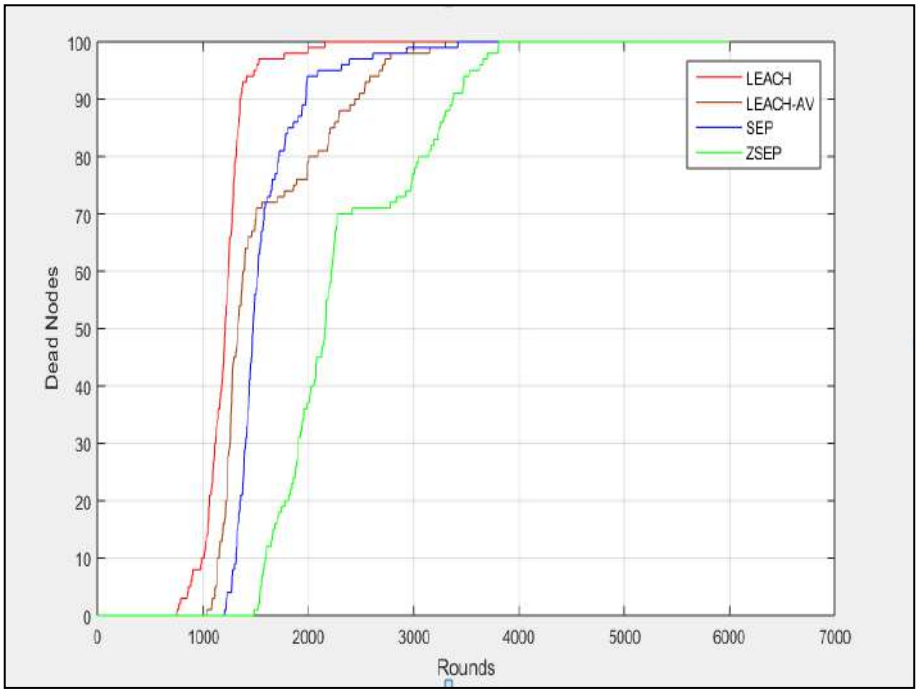


Figure II. 11 Nombre de nœuds morts en fonction de Tours.

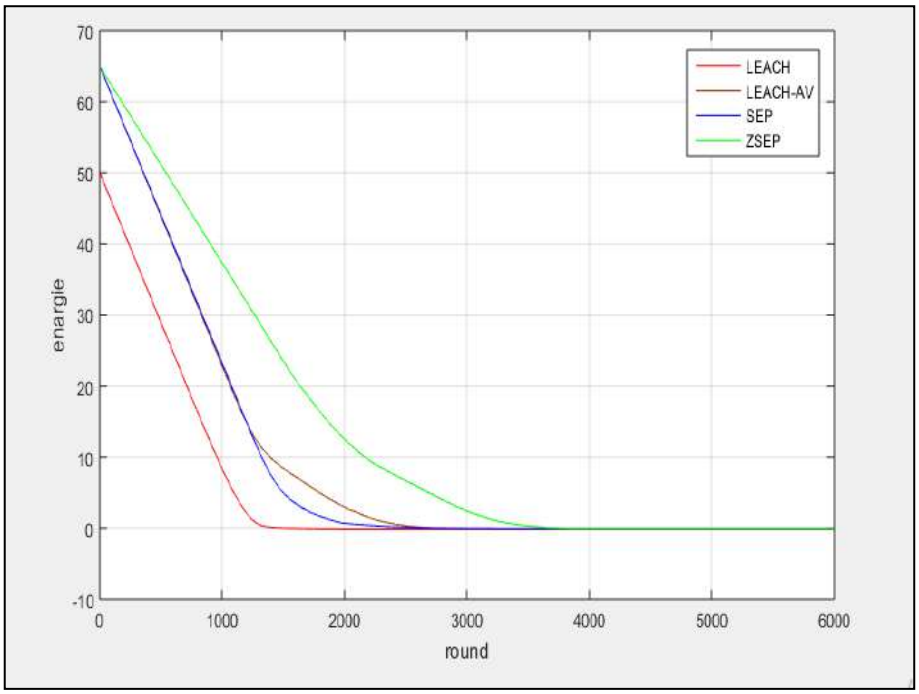


Figure II. 12 Energie résiduelle en fonction de Tours.

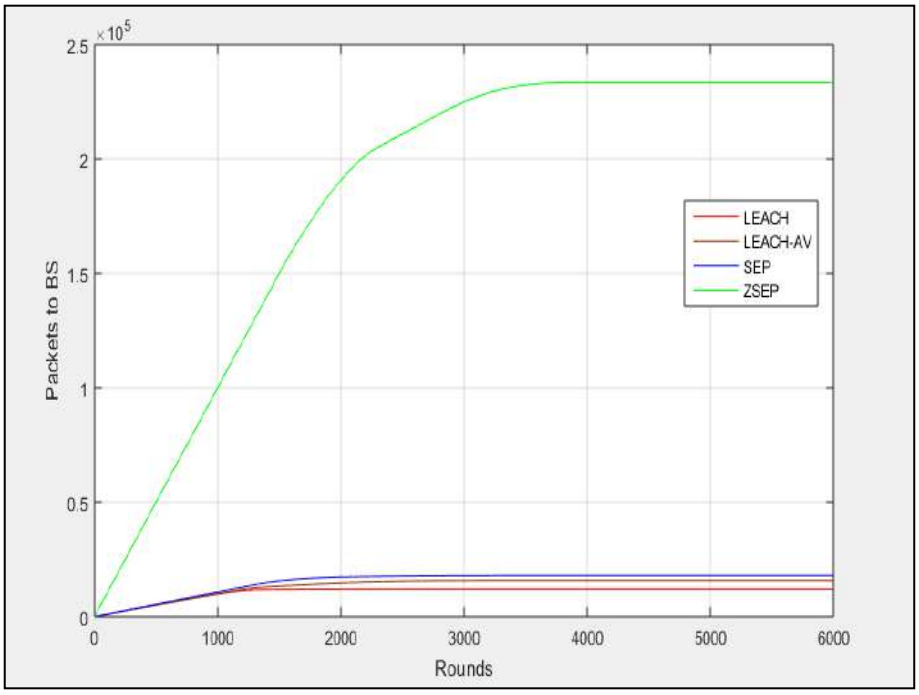


Figure II. 13 nombre de messages reçus par la station de base en fonction de Tours.

II.5 Conclusion :

Le routage hiérarchique est un type particulier de routage de données dans les WSNs, Il vise à rendre les protocoles plus favorables au passage à l'échelle tout en restant plus économique en consommation d'énergie.

Le Clustering est la technique la plus utilisée par les protocoles hiérarchiques. Il consiste à regrouper les nœuds dans des clusters avec un seul représentant qui permet l'agrégation de données de son cluster et le routage de ces informations vers la station de base.

LEACH adopte une agrégation de données au niveau des CHs pour réduire la taille des données transmises à la station de base, et par conséquent, il permet de consommer moins d'énergie.

Plusieurs protocoles inspirés de LEACH comme SEP et ZSEP qui ont comme objectif de minimiser la consommation d'énergie et prolonger la durée de vie du réseau afin d'optimiser mieux les ressources des nœuds capteurs.

Notre contribution a pour objectif d'améliorer encore mieux les performances de ces protocoles en cherchant des techniques de déploiement des nœuds capteurs sur le champ de captage et une autre technique de répartition et de gestion de l'énergie sur l'ensemble des capteurs afin d'atteindre notre objectif.

CHAPITRE III : Contribution à l'optimisation de la consommation d'énergie des protocoles d'auto - organisation

III.1 Introduction :

Le routage hiérarchique des données dans les WSNs, est une classe spécifique des protocoles de routage, elle englobe les solutions qui adoptent une restructuration du réseau physique en un système d'hiérarchie logique, visant l'optimisation de la consommation de l'énergie et d'augmenter la durée de vie du réseau; à titre d'exemples : le protocole de clustering et de routage de données LEACH.

Plusieurs solutions de routage hiérarchique sont présentées dans la littérature comme SEP et ZSEP. Chacune d'elle présente une technique différente pour minimiser la consommation de l'énergie sur l'ensemble du réseau. Néanmoins, des améliorations restent à apporter pour achever de meilleures performances. Les chercheurs proposent différentes architectures des réseaux de capteurs sans fil qui améliorent aux mieux ces performances.

Notre contribution vise les deux protocoles hiérarchiques et d'auto-organisation SEP et ZSEP pour des raisons qui seront expliquées ultérieurement.

Ces deux protocoles ont amélioré les performances des réseaux de capteurs sans fils mais reste toujours des améliorations qui peuvent être apportés à ces derniers afin d'améliorer aux mieux les performances.

III.2 Notre contribution :

III.2.1 Amélioration du protocole SEP :

Le protocole SEP donnent la chance aux nœuds avancés en énergie d'être des chefs de groupe qui transmettre par la suite les messages collectés à partir des nœuds membre à la station de base. Donc les chefs des groupes vont dissiper une énergie importante et peuvent mourir rapidement lorsque sont loin de la station de base car la portée de transmission est limitée par la capacité de rayonnement des antennes utilisées et la puissance du signal mises en jeu. Par exemple, la communication entre deux nœuds capteurs ne peut avoir lieu que si la distance qui les sépare n'est pas trop importante (quelques dizaines de mètres en pratique). Et que plus cette distance est grande, plus le coût énergétique est élevé. C'est d'autant plus vrai s'il y a des obstacles physiques entre les deux nœuds qui risquent d'empêcher toute communication.

Pour franchir ce problème, la station de base peut être mobile et visite à chaque round les chefs des groupes et collecte les messages de ces derniers lorsqu'elle est à portée radio.

Ce type d'architecture représente une solution intéressante qui est l'utilisation d'agents mobiles omniprésents qui se déplacent d'une manière aléatoire ou contrôlée pour rassembler des données lorsqu'ils se rapprochent des nœuds capteurs fixes. Dans la littérature, ces agents mobiles sont appelés puits mobiles ou encore collecteurs de données mobiles. Les éléments mobiles peuvent être des robots, des humains, des animaux ou des véhicules. Ces éléments mobiles forment une couche de transport de paquets intermédiaire entre les points d'accès et les nœuds capteurs fixes déployés. Ils transportent les informations récoltées jusqu'à un relai ou un centre de traitement de données. Leur mobilité prévisible peut être utilisée pour l'économie d'énergie [MAH 14]. Le temps de passage de l'élément mobile peut être fixé selon un calendrier de visite prévu. Ainsi, les nœuds capteurs ne passent en mode de transmission de données que lors du contact de l'élément mobile.

La station de base ne peut pas visiter en même temps tous les chefs des groupes lorsqu'ils envoient les messages, la solution qui a été proposé est que la station de base calcule au début de chaque round le centre de gravité des chefs et se déplace à cette position afin qu'elle sera à portée radio de tous les CHs pour réduire la distance qui existe entre elle et les CHs.

La station de base doit être mobile. Les nœuds sont fixes, adoptant le protocole SEP et nous nous intéressons à la mobilité conditionnée de la station de base pour estimer les performances de cette technique sur le réseau. Calculons le Barycentre des clusters Head pour chaque round et la station de base se mobilise selon ce Barycentre.

III.2.1.1 Algorithme de calcul du barycentre de la position des chefs de groupe :

Le barycentre G de n point matériel Pi, de masse mi, est appelé centre de gravité et est défini par:

$$\overrightarrow{OG} = \frac{\sum_{i=1}^{n} m_i \overrightarrow{OP_i}}{\sum_{i=1}^{n} m_i} = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^{n} m_i \overrightarrow{OP_i} \qquad \text{(III.1)}$$

Le barycentre G d'un system matériel continue se definite par:

$$\mathrm{XG} = \frac{1}{\mathrm{M}} \sum_{\mathrm{i}=1}^{\mathrm{n}} \mathrm{x(i)m(i)} \qquad \text{(III.2)}$$

$$YG = \frac{1}{M} * \sum_{i=1}^{n} y(i) * m(i) \qquad (III.3)$$

Apres une projection sur notre besoin on est arrivé à :

e : c'est l'énergie du i^{eme} Cluster Head analogue au m

O : c'est point (0,0)

x (i) : L'abscisse du i^{eme} Cluster Head.

y (i): L'ordonnée du i^{eme} Cluster Head.

XG: L'abscisse de la position de la station de base à chaque tour.

YG: L'ordonnée de la position de la station de base à chaque tour.

Après que la station de base collecte tous les informations concernant tous les nœuds, et après l'élection des clusters Head, on extraire :

- les abscisses des CHs et on les mettre dans un vecteur (x).

-les ordonnées des CHs et on les mettre dans un vecteur (y).

- leurs énergies et on les mettre dans un vecteur (e).

Apres cette extraction une multiplication des deux vecteurs (x) et (e) éléments par élément sera faite, en calculant la somme des résultats avec celle qui précède qu'on l'a nome som1.

$$\sum_{u=1}^{k} x(u) * e(u) = som1 \qquad (III.4)$$

k= la taille de (x)et (e)

- une multiplication des deux vecteurs (y) et (e) élément par élément, en calculant la somme des résultats avec celle qui précède som2

$$\sum_{u=1}^{k} y(u) * e(u) = som2 \qquad (III.5)$$

k= la taille de (y) et (e)

-une somme de tous les éléments de vecteur(e) =som3

$$\sum_{i=1}^{k} e(i) = som3 \qquad (III.6)$$

Finalement on fait la division :

$$Som1/som3 = sink.\ X = Xg \qquad (III.7)$$

$$Som2/som3 = sink.Y = Yg \qquad (III.8)$$

III.2.2 Amélioration du Protocole Z-SEP (Zonal-Stable Election Protocole) :

Le protocole ZSEP consiste à partitionner le réseau hétérogène en trois zones sur la base des niveaux d'énergie et coordonnée Y de domaine de réseau voir l'exemple de la figure III.1.

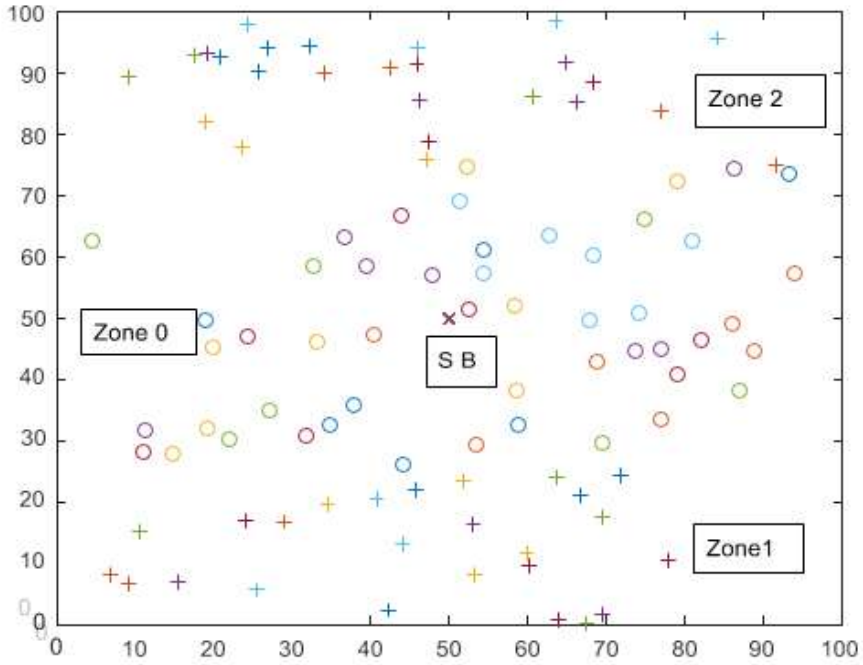


Figure III. 1 architecture de réseau ZSEP.

Après la simulation on a constaté que les nœuds normaux loin de la station de base (Zone 0) meurent rapidement car ils envoient leurs données directement envers cette dernière et aucun nœud avancés n'est mort dans les deux autres zones (zone 1 et zone 2) comme le montre la figure III.2.

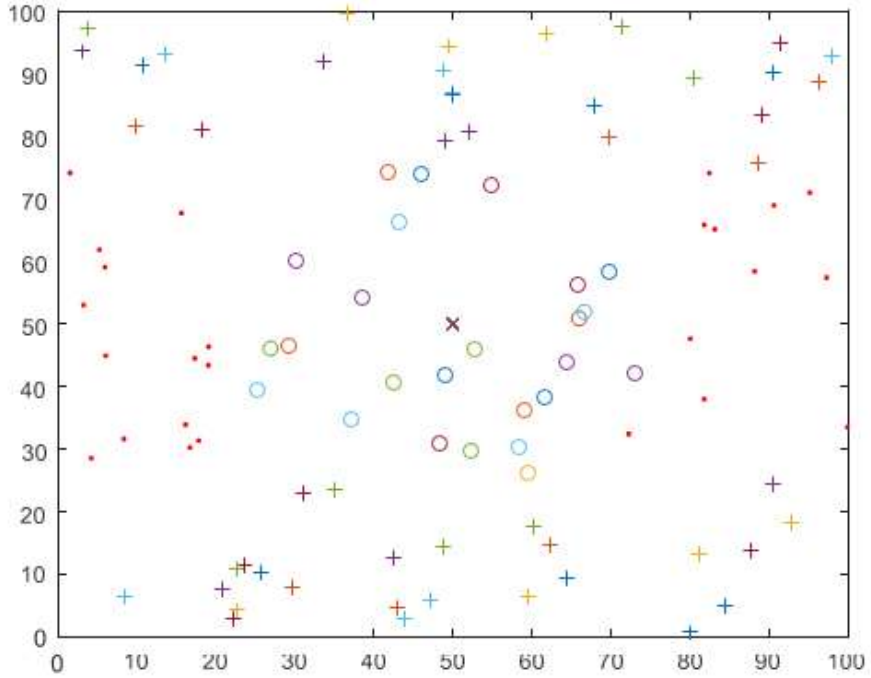


Figure III. 2 Le protocole ZSEP après la mort des nœuds normaux loin.

Pour résoudre ce problème et augmenter la durée de vie du réseau, on propose une autre technique qui se résume comme suit :

Dans les zones où les nœuds normaux meurent rapidement ces derniers seront remplacés par des nœuds avancés on gardant la même énergie totale du réseau et elle sera répartie sur l'ensemble des nœuds en fonction des nombres des nœuds par unité la surface des champs de captage. Le réseau sera alors partitionné en cinq zones comme le montre la figure suivante.

Avec :

Zone 0 : 16 nœuds normaux.

Zone 1 : 30 nœuds avancées.

Zone 2 : 30 nœuds avancées.

Zone 3 : 12 nœuds avancées.

Zone 4 : 12 nœuds avancées.

Et on garde toujours mxa = toujours 0.3 mais avec m=0.84 et a= 0,35714.

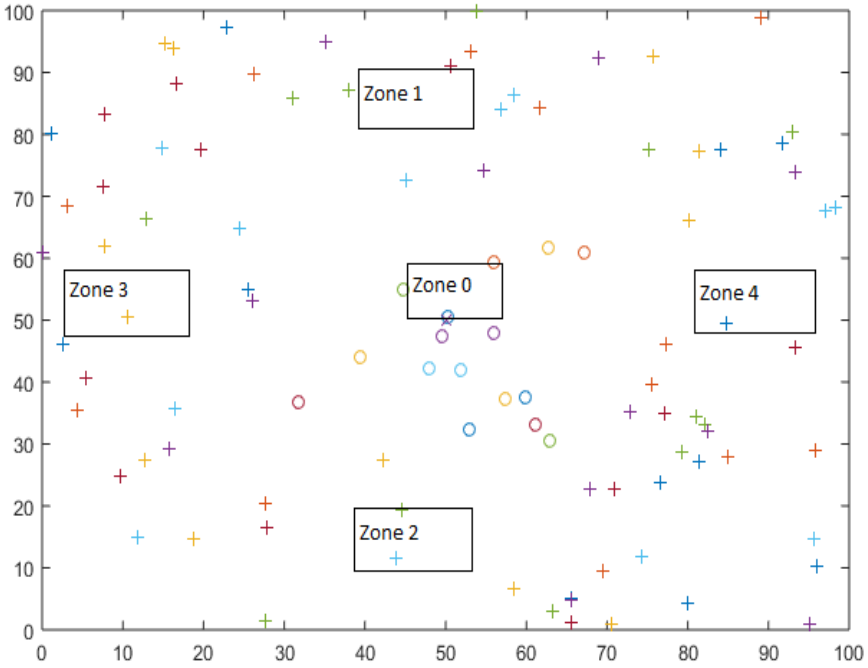


Figure III. 3 Le protocole ZSEP modifié.

III.2.3 Analyse des résultats des simulations :

Le but de ces simulations est de voir l'influence des nouvelles techniques sur les performances des différents protocoles de routage qui ont été déjà adopté par des réseaux de capteurs.

Les résultats des simulations seront présentés par des courbes qui montrent l'évolution de la stabilité, l'énergie totale consommé par rond et la quantité des paquets de données envoyées à la station de base. Ces résultats seront comparés avec celles obtenu avec les protocoles SEP et ZSEP.

III.2.4 Métriques utilisées :

- ✓ **La durée de vie de réseau [MAH 14] :** Nous considérons que lorsque le taux de capteurs vivants descend sous le seuil α-coverage (représente le taux nécessaire de capteurs vivants pour garantir la couverture totale de la zone d'intérêt), le réseau deviendra dysfonctionnel.
- ✓ **Période de stabilité** [MAH 14] : C'est la durée jusqu'à la mort du premier nœud du réseau.

- ✓ **La quantité d'information** : C'est la quantité des données (messages) reçus par la station de base.
- **La consommation d'énergie :** C'est l'énergie consommée par les nœuds capteurs.

III.2.5 Résultats de simulation de protocole SEP avec station de base mobile (SEP-M) :

On implique la mobilité de la station de base à un réseau de capteur adoptant le protocole SEP et on va la comparé avec SEP a station de base fixe.

Le sep (Stable Election Protocol) : est un protocole hétérogène conscient de prolonger l'intervalle de temps avant la mort du premier nœud (que nous appelons la période de stabilité), ce qui est crucial pour de nombreuses applications où les évaluations du réseau de capteurs doit être fiable.

SEP basée sur les probabilités électorales pondérées de chaque nœud pour devenir chef de groupe.

Afin de prolonger la région stable, SEP tente de maintenir la contrainte de consommation d'énergie bien équilibrée. Intuitivement, les nœuds avancés doivent devenir chefs de cluster plus souvent que les nœuds normaux, ce qui équivaut à une contrainte d'équité sur la consommation d'énergie.

L'énergie de chaque nœud avancé sera $Eo \cdot (1 + a)$. L'énergie totale du nouveau réseau hétérogène est égale à:

$$n \cdot (1 - m) \cdot Eo + n \cdot m \cdot Eo \cdot (1 + a) = n \cdot Eo \cdot (1 + a \cdot m)$$

Ainsi, l'énergie totale du système est augmentée de $(1 + a \cdot m)$ fois.

Les résultats des simulations qui seront présentées montrent les évolutions de la nouvelle technique par rapport au protocole SEP.

III.2.5.1 La durée de vie de réseaux :

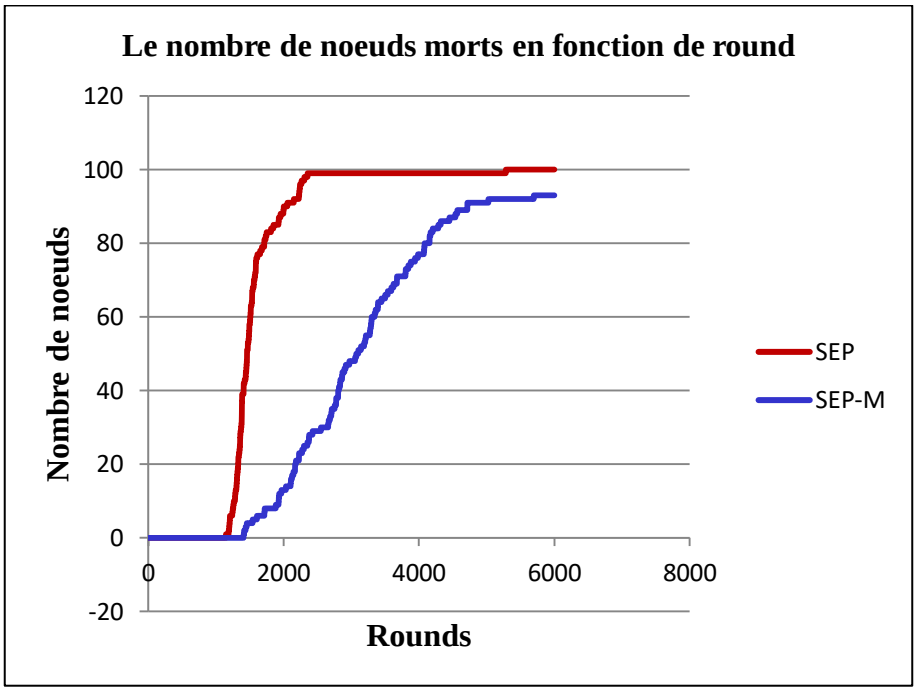


Figure III. 4 Nombre de nœuds morts en fonction de rounds du SEP et SEP-M.

III.2.5.2 L'énergie consommée :

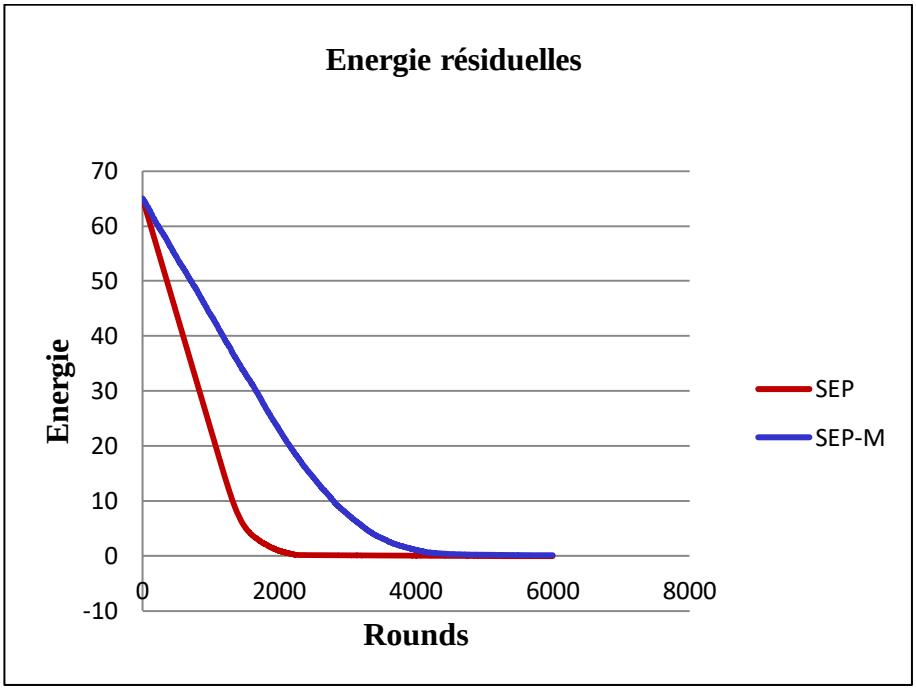


Figure III. 5 Energie résiduelles en fonction de rounds du SEP et SEP-M.

III.2.5.3 La quantité d'information :

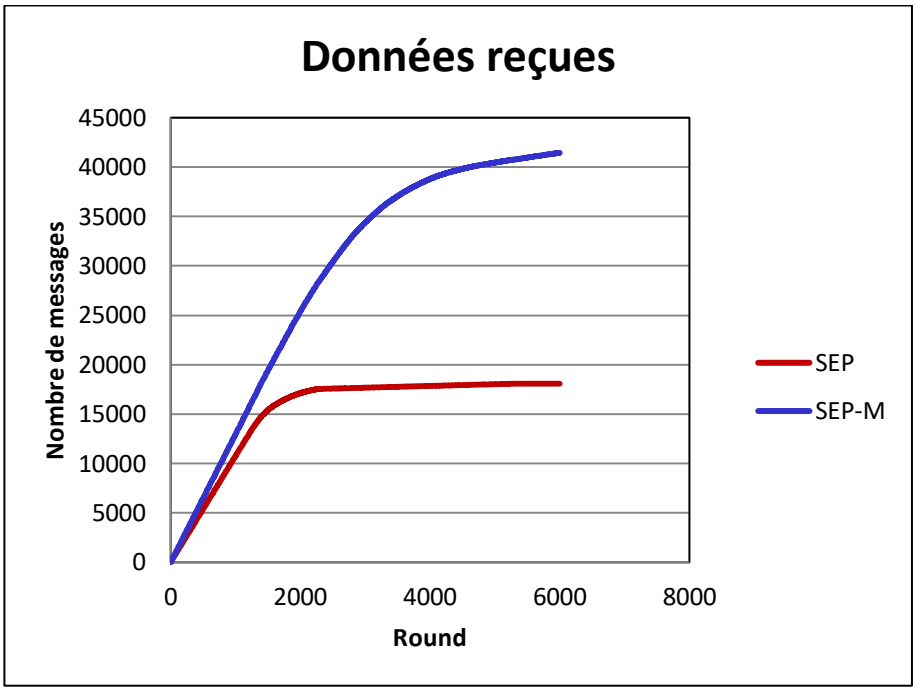


Figure III. 6 Nombre de messages en fonction de rounds du SEP et SEP-M.

Les résultats obtenus montrent clairement que la nouvelle technique a amélioré la stabilité du réseau et a réduit la consommation d'énergie.

La mobilité de la station de base a amélioré les performances du protocole SEP.

III.2.6 Résultats de simulation du protocole ZSEP Modifié (ZSEP-M) :

III.2.6.1 La durée de vie de réseaux :

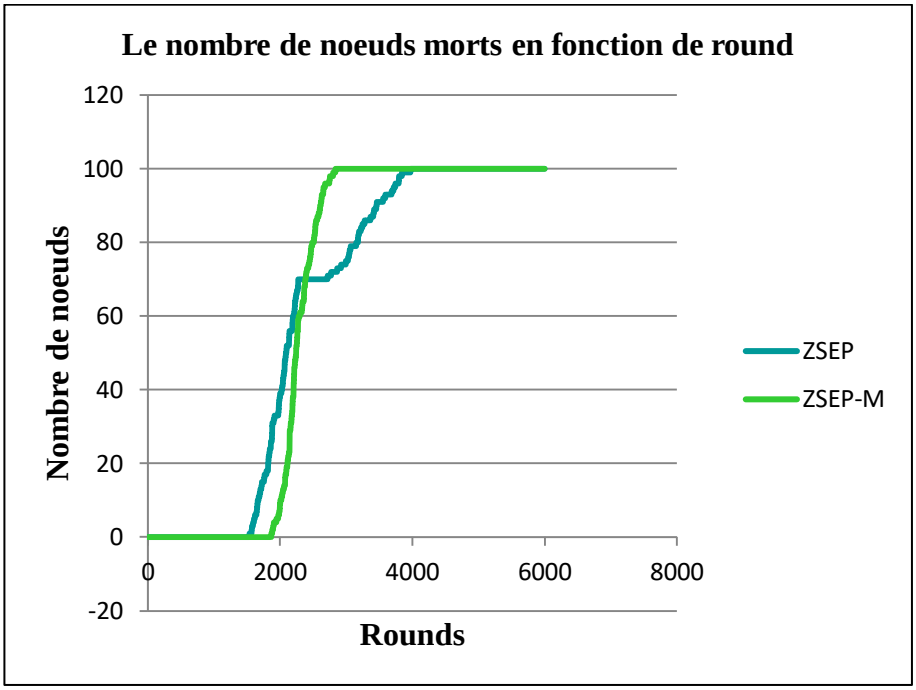


Figure III. 7 Nombre de nœuds morts en fonction de rounds du ZSEP et ZSEP-M.

III.2.6.2 L'énergie consommée :

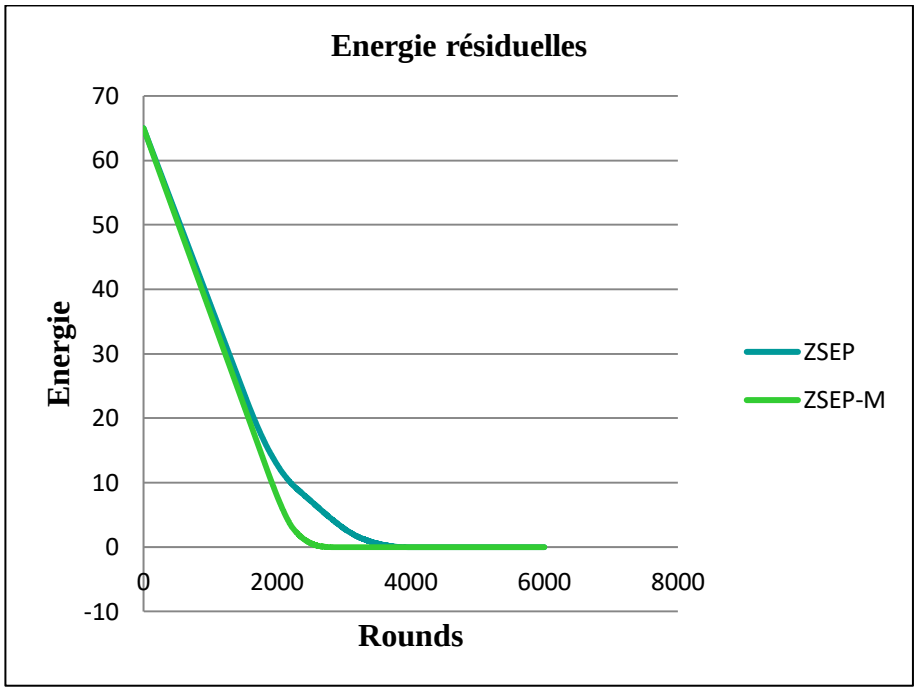


Figure III. 8 Energie résiduelles en fonction de rounds du ZSEP et ZSEP-M.

III.2.6.3 La quantité d'information :

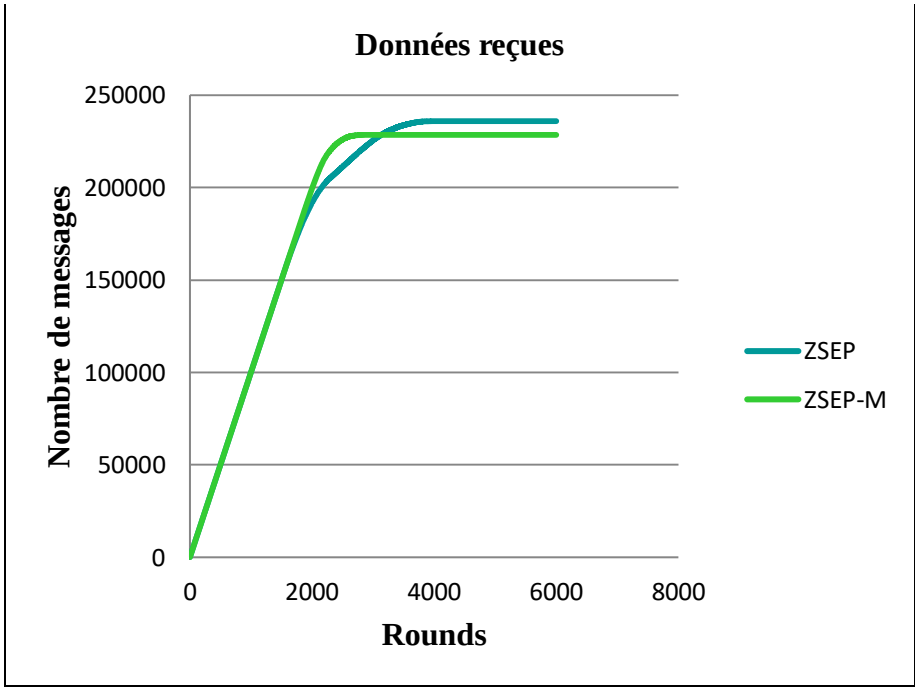


Figure III. 9 Nombre de messages en fonction de rounds du ZSEP et ZSEP-M.

Les résultats des simulations montrent que la technique de répartition de l'énergie résiduelle aux nœuds normaux loin de la station de base augmente la stabilité du réseau et réduit la consommation d'énergie.

Cette technique a amélioré les performances du protocole ZSEP.

III.2.7 Comparaison entre les protocoles LEACH, SEP, SEP-M, ZSEP et ZSEP-M :

III.2.7.1 La durée de vie de réseaux :

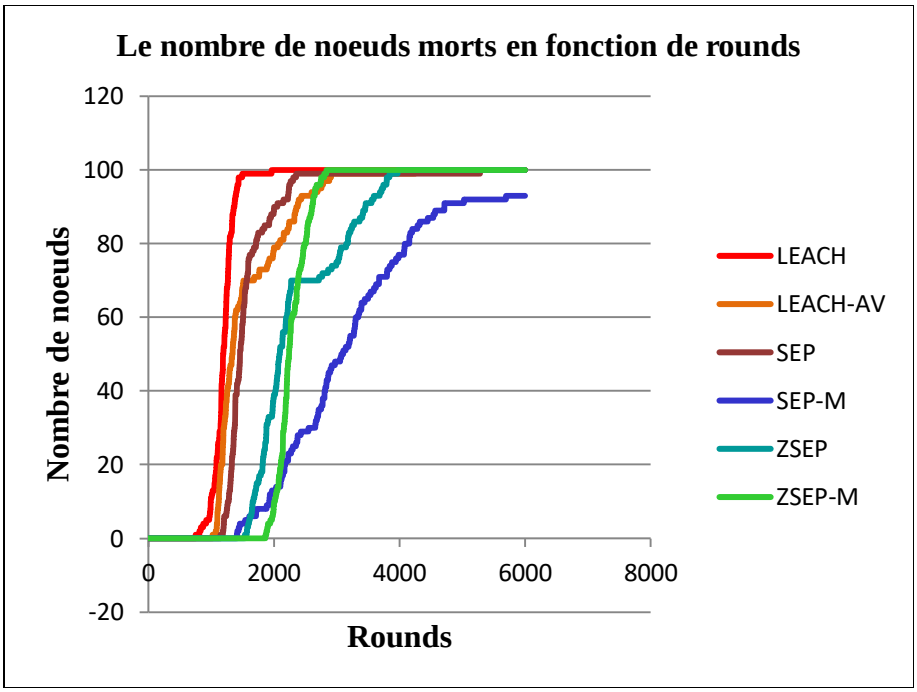


Figure III. 10 Nombre de nœuds morts en fonction de rounds des protocoles étudiés.

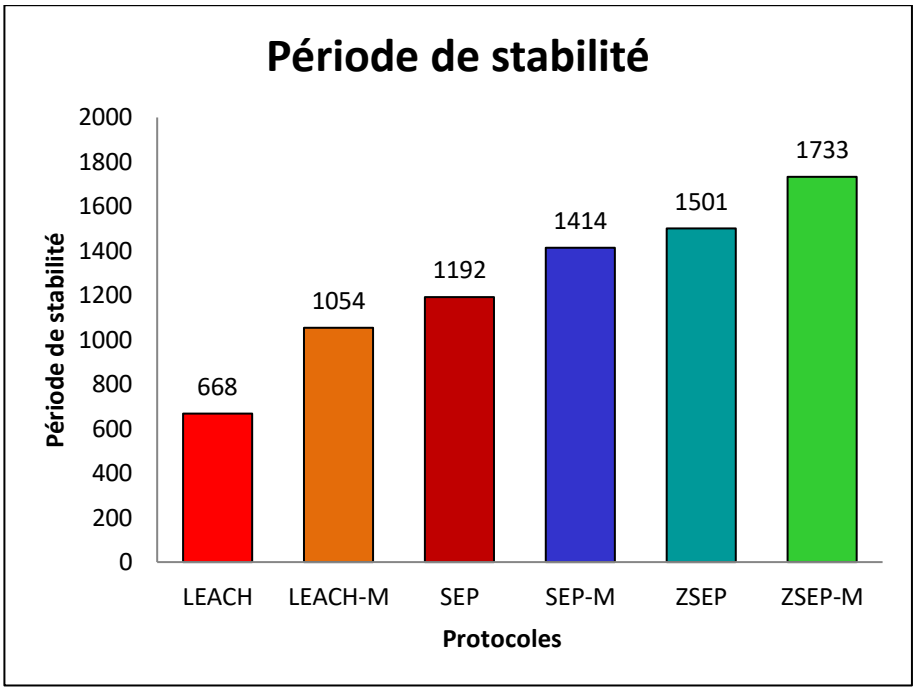


Figure III. 11 Période de stabilité des protocoles étudiés.

Les résultats récapitulatifs des protocoles d'auto- organisation et de clustering montrent que notre contribution a amélioré la stabilité et a prolongé la durée vie du réseau.

La mobilité de la station de base dans un réseau géré par le protocole SEP augmente la durée de vie de 222 tours est qui vaut 19%.

La répartition de l'énergie résiduelle sur nœuds normaux loin de la station de base performe la stabilité du réseau géré par le protocole ZSEP et prolonge la durée de vie du réseau par 232 tours est qui vaut 15.5%.

III.2.7.2 L'énergie consommée :

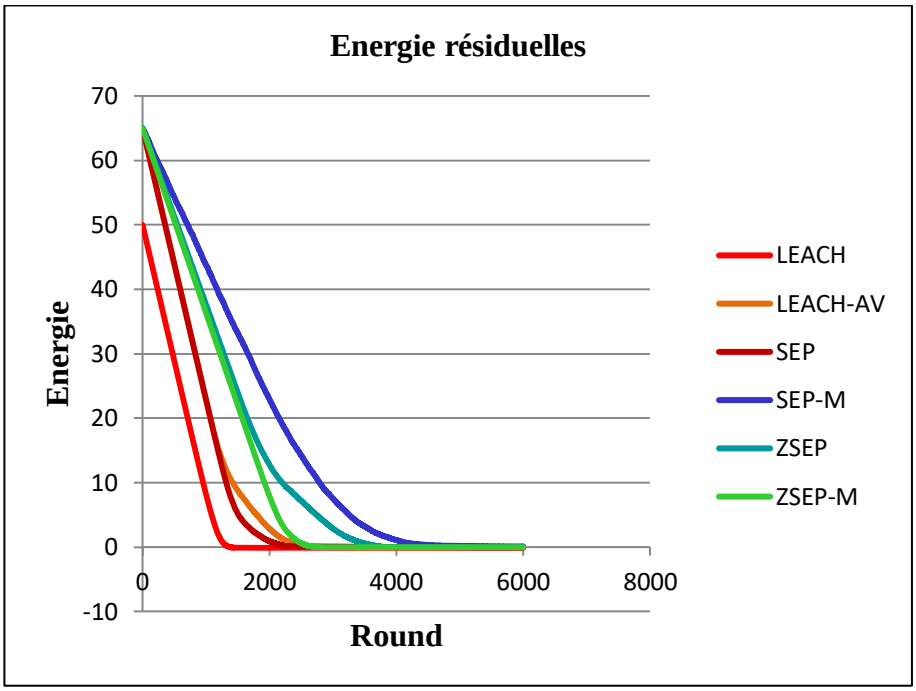


Figure III. 12 Energie résiduelles en fonction de rounds des protocoles étudiés.

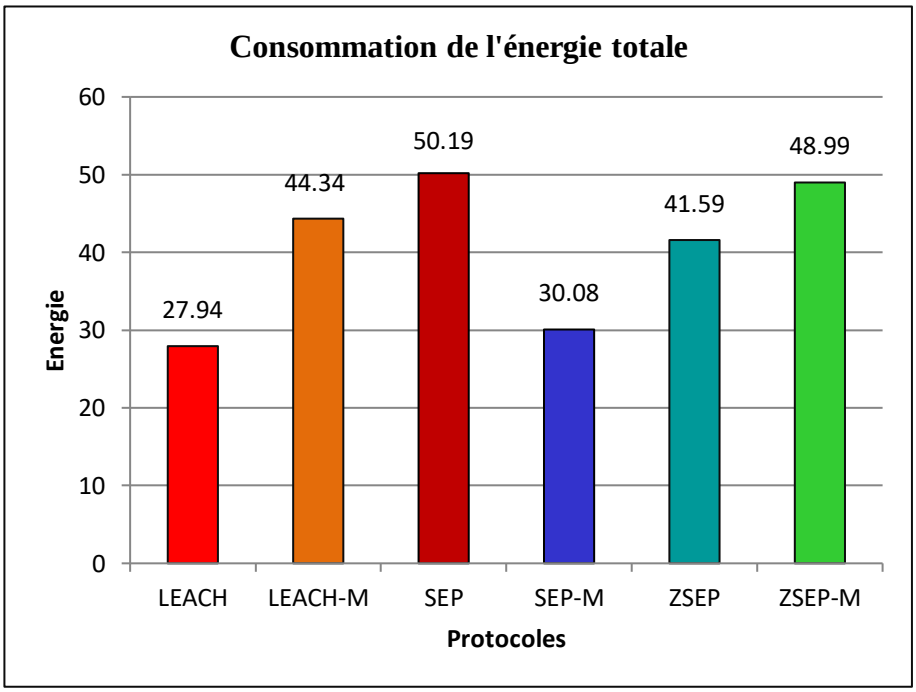


Figure III. 13 Energie consommée au point de stabilité.

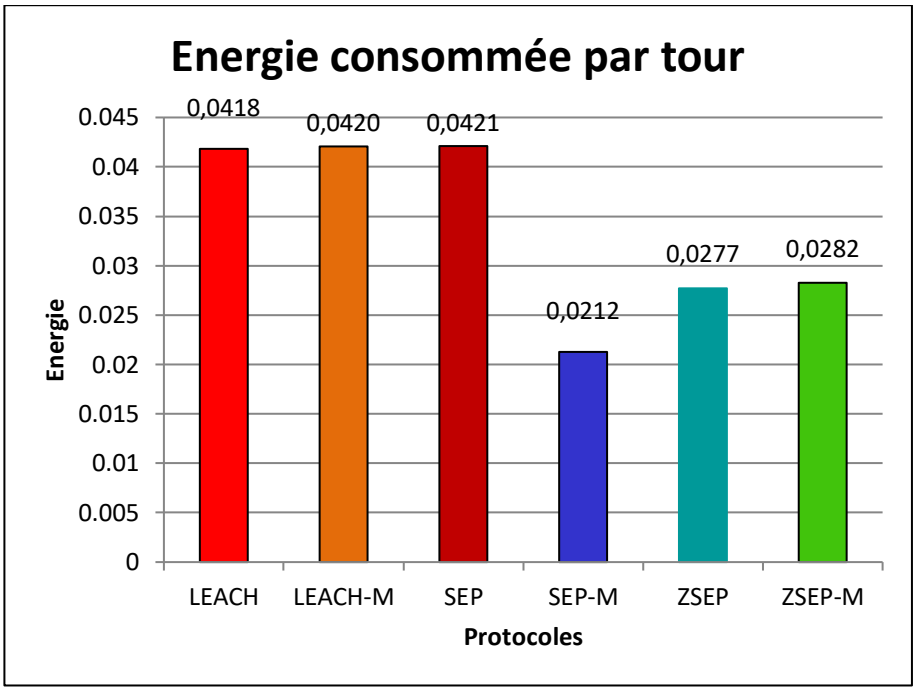


Figure III. 14 Energie consommée par tour des protocoles étudiés.

La mobilité de la station de base réduit la consommation d'énergie de 50% pour le protocole SEP.

Avec le protocole ZSEP, la répartition d'énergie sur les nœuds normaux empêche la réduction de la consommation parce que l'énergie qui a été perdu (ou résiduelle) elle a été consommé afin de prolonger la durée de vie du réseau.

Avec la même énergie consommée la durée de vie a été prolongée par 232 tours (15,5%)

III.2.7.3 La quantité d'information :

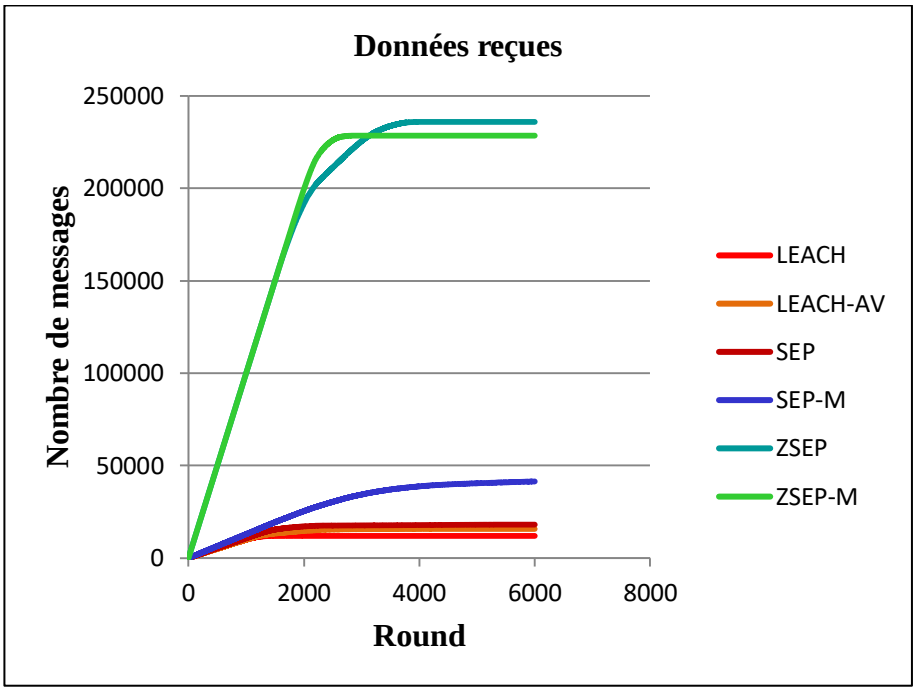


Figure III. 15 Nombre de messages reçus en fonction de rounds des protocoles étudiés.

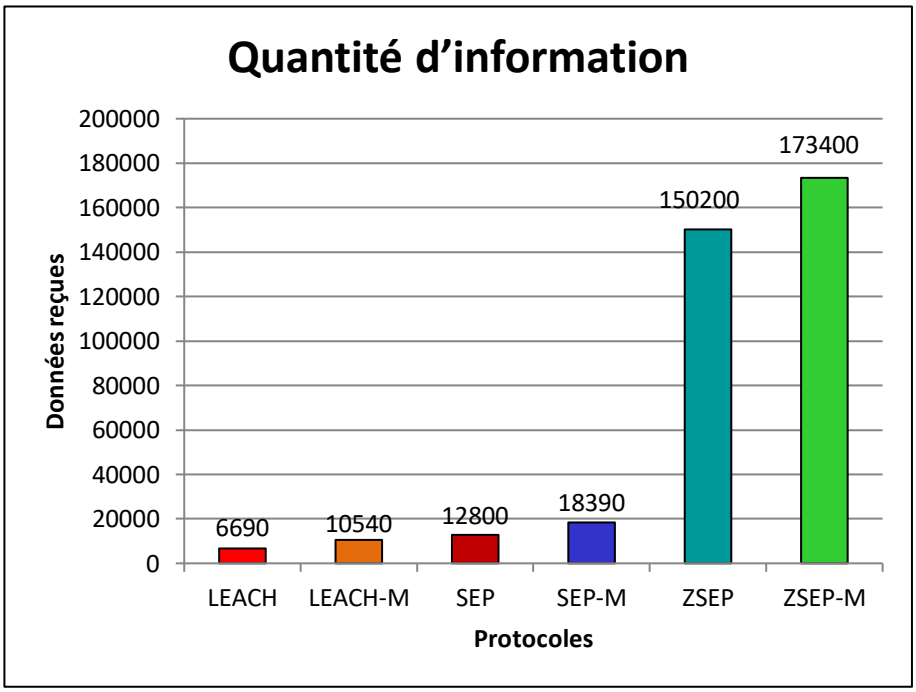


Figure III. 16 Quantité d'information reçue de chaque protocole.

Dans les deux techniques la quantité des données envoyées à la station de base est augmentée.

III.3 Conclusion :

Les résultats des simulations montrent que la mobilité de la station de base sur un champ de captage géré par le protocole d'auto-organisation et de clustéring SEP réduit d'une manière très remarquable la consommation d'énergie et prolonge la durée de vie du réseau car la station de base mobile visite les chefs des groupes au moment où ils viennent d'envoyer leurs messages collectées à partir des nœuds membres, ce qui réduit la distance entre le CHs et la station de base.

Pour les réseaux de capteurs gérés par le protocole ZSEP, on a remarqué qu'à la fin de la durée de vie du réseau il reste une quantité importante d'énergie totale n'a pas été consommée, cette dernière a été répartie sur les nœuds normaux situés loin de la station de base et qui meurt rapidement afin de compenser l'énergie consommée et assurer une longue durée de vie du réseau.

Conclusion générale

Conclusion générale

Motivés par l'extrême consommation ainsi que la mauvaise répartition d'énergie sur les nœuds dans les protocoles d'auto-organisation et de clustering, où les CH et les nœuds éloignés de la station de base meurent plus vite que les autres nœuds, nous avons essayé, de proposer une nouvelle technique qui combine les avantages des protocoles dans le but de réduire leurs inconvénients et fournir un meilleur rapport durée de vie.

Afin de valider les améliorations apportées par notre protocole en terme de prolongement de temps de vie du réseau ainsi que la gestion efficace de la consommation énergétique, nous avons simulé le fonctionnement de notre algorithme avec le programme MATLAB et comparé les résultats fournis avec ceux du protocole LEACH, LEACH-A, SEP et ZSEP.

En effet, l'étape de simulation nous a posé un véritable défi puisque le code d'implémentation du protocole SEP avec station de base mobile et le calcul de la consommation d'énergie dans les différents protocoles simulés n'est pas disponible d'autant plus que celui du protocole LEACH est difficile à obtenir. De plus, le programme Matlab ne prend pas en considération les RCSFs.

Les résultats fournis par la simulation prouvent que notre protocole offre une meilleure gestion d'énergie par rapport aux protocoles LEACH, LEACH-A, SEP et ZSEP. De plus, la durée de vie est significativement prolongée.

Enfin, comme perspectives nous envisageons d'améliorer les performances de notre protocole de routage que ce soit au niveau de l'algorithme de construction des groupes et les chefs des groupes en prend considération les réserves d'énergie des nœuds dans l'élection et de formation des CHs), ou au niveau de l'algorithme de répartition de l'énergie résiduelle qui est supposée perdue sur l'ensemble des nœuds normaux.

BIBLIOGRAPHIE

[AKK 05]	K. Akkaya and M.Younis, « A survey on routing protocols for wireless Sensor network » Elsevier Ad Hoc Network Journal, vol.3, no.3, pp. 325-349, May, 2005.
[AKY 02]	I. F. Akyildiz, W. Su, Y. Sankarasubramaniam, and E. Cayirici, « Asurvay on sensor networks », Commun. ACM, pp. 102–114, Aout.2002.
[ALL 14]	Allouache Djedjiga & Azamoum Karima, « Optimisation de la consommation d'énergie dans les réseaux de capteurs sans fil »,73p mémoire de Master en Informatique, l'Université A.MIRA-BEJAIA, 2014
[ATH 10]	Samir ATHMANI, « Protocole de sécurité Pour les Réseaux de capteurs Sans Fil ».96p, mémoire de magister, Université Hadj Lakhder - Batna, 2010.
[AYO 15]	AYOUB Med Seghir & CHERABI Salim « Proposition d'un algorithme de routage hiérarchique dans les réseaux de capteurs sans fil »72p Mémoire de Master en Recherche Opérationnelle Université A. Mira de Béjaia 2015.
[BOU 08]	BOUBICHE Djallel Eddine, « Protocole de routage pour les réseaux de capteurs sans fil », mémoire de magister, Université Hadj Lakhder - Batna, 2008.
[BOU 10]	BOUDJAADAR Amina, « Plateforme Basée Agents Pour l'Aide à la conception et la Simulation des Réseaux de Capteurs Sans Fil », memoire de magister, universite 20 aout 55 de skikda, BOUDJAADAR Amina, 2010.
[CHA 08]	Yacine CHALLAL, « Les réseaux de capteurs sans fil », cours, Université de Technologie de Compiègne Heudiasyc, UMR CNRS 6599 BP 20529, 60205, COMPIEGNE CEDEX, France, 2008.
[FAI 12]	S. Faisal, N. Javaid, A. Javaid, M. A. Khan, S. H. Bouk, Z. A. Khan, « Z-SEP: Zonal-Stable Election Protocol for Wireless Sensor Networks », COMSATS Institute of Information Technology, Islamabad, Pakistan, 2012.
[GHA 14]	G.Chandini, Rajavali Guntur, K. W. Rajesh Guntur « Energy Efficient Zonal Stable Election Protocol for WSNs » Department of Electronics and Communication Engineering.,Sri Sivani College Of Engineering, Srikakulam, A.P, India 2014

[HEI 00]	W. Heinzelman, A. Chandrakasan and H.Balakrishnan, « Energy efficient communication protocols for wireless micro sensor networks », in: Proceedings of the 33rd Hawaiian International Conference on Systems Science, 10 pp. vol.2, Janvier 2000.
[HEI 02]	W. Heinzelman, A. Chandrakasan and H. Balakrishnan, « Anapplication-specific protocol architecture for wireless microsensornetworks » in IEEE Transactions,on Wireless Communications, VOL. 1, NO. 4,pp.660-670 Octobre. 2002.
[HOL 05]	Holger Karl and Andreas Willig « Protocols and Architectures for Wireless Sensor Networks ». John Wiley & Sons, Ltd. 2005 .507p. ISBN: 0-470-09510-5
[KAR 09]	Karel Heurtefeux « PROTOCOLES LOCALISÉS POUR RÉSEAUX DE CAPTEURS » 143p Thèse de Doctorat, Ecole doctorale, Informatique et Mathématiques de Lyon, 2009.
[KEC 10]	KECHAR Bouabdellah, » Problématique de la consommation d'énergie dans les réseaux de capteurs sans fil », 152p, thèse doctorat en d'informatique université d'Oran ,2010.
[LEH 09]	LEHSAINI Mohamed, « Diffusion et couverture basées sur le clustering dans les Réseaux », 222 p.Thèse de Doctorat en Informatique, Université de Franche-Comté Besançon ,2009.
[LEH 14]	Lahcene DEHNI , Younès BENNANI , Francine KRIEF « Une nouvelle approche de routage dans les réseaux de capteurs pour l'optimisation de la consommation d'énergie », article, + LAboratoire Bordelais de Recherche en InformatiqueUMR 5800 du CNRS, Université Bordeaux 1 ,2014
[LOU 15]	LOUAZANI Ahmed « Sécurisation d'un protocole Inter-Couches pour les Réseaux LR-WPAN » 129p,thèse de doctorat , universite ahmed benbella oran , 2015
[MAH 14]	MAHMOUDI Brahim, « Développement et évaluation de fonctionnalités d'auto-organisation Pour les réseaux de capteurs sans fil »87p*, mémoire de Magister , faculté de technologie –Université Yahia Fares de Médéa* 2014.
[MOU 16]	MOUSSAOUI Adel, BELLAL Juba « Routage Hiérarchique avec Optimisation de Consommation d'Energie dans les Réseaux de Capteurs Sans-Fil. »78p. Master Professionnelle En Informatique Université A/Mira de Béjaia (2016)
[NGO 16]	NGOM Diery, « Optimisation de la durée de vie dans les réseaux de capteurs sans fil sous contraintes de couverture et de connectivité »,129p Thèse de Doctorat en Informatique, l'Université de Haute Alsace (France)

	,2016
[OUA 09]	Nabil OUAZENE, «Pour une QoS au niveau de la Couche MAC dans les Réseaux Sans Fil »95p, mémoire de magister EN INFORMATIQUE, Université Hadj Lakhdar Batna ,2009.
[REH 13]	O. Rehman, N. Javaid, B. Manzoor, A. Hafeez, A. Iqbal, M. Ishfaq, « Energy Consumption Rate based Stable Election Protocol (ECRSEP) for WSNs, » International Workshop on Body Area Sensor Networks (BASNet-2013)pp 932 – 937. Procedia Computer Science 19 (2013)
[SAB 12]	B. A. Sabarish, M. S. M. Guru, M. A. Dhivya, K. S. Naveen, and S. Vaishnavi, « A survey on clustering protocols in wireless sensor networks » International Journal of Advances in Computing and Information technology, vol. 1, no. 2, 2012
[SMA 04]	Smaragdakis, G., Matta, I., & Bestavros, A, « SEP: A stable election protocol for clustered heterogeneous wireless sensor networks ». Boston University Computer Science Department, 2004
[SOH 07]	Kazem SOHRABY, Daniel MINOLI, Taieb ZNATI, « wireless sensor networks:Technology, Protocols, and Applications », canada John Wiley & Sons, Inc, 2007.326p. ISBN 978-0-471-74300-2.
[YOU 04]	O. Younis and S. Fahmy, « HEED: a hybrid, energy-efficient, distributed clustering aproach for ad hoc sensor networks », EEE Trans. Mob. Comp., vol. 3, no. 4, pp. 366–379, 2004.
[YOU 10]	YOUSEF Yaser « Routage pour la Gestion de l'Energie dans les Réseaux de Capteurs Sans Fil »140p, Thèse de Doctorat, en Informatique, université de HAUTE ALSACE, 2010.
[YOU 12]	YACINE YOUNES, « Minimisation d'énergie dans un réseau de capteurs »84p memoire de magister en informatique, université MOULOUD MAMMERI de tizi-ouzou, 2012.