REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR & DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE DR. YAHIA FARES DE MEDEA

Faculté des Sciences et de la Technologie
Département de Génie Electrique et d'Informatique

Projet de fin d'études

Pour l'obtention du diplôme de Master en Génie électrique

Spécialité : **systémes intelligents et communiacants**

THEME

CONTRIBUTION A L'OPTIMISATION D'ENERGIE DANS LES RESEAUX DE CAPTEURS SANS FIL

Réalisé par :

METALI Meriem
SELLOUM Sara

Proposé et Dirigé par :

M. GUEDMANI Mohamed

Juin 2016

Dédicace

Je dédie ce mémoire à :

-Mon père, qui peut être fier et trouver ici le résultat de longues années de sacrifices et de privations pour m'aider à avancer dans la vie. Puisse Dieu faire en sorte que ce travail porte son fruit ; Merci pour les valeurs nobles, l'éducation et le soutient permanent venu de toi. (Que dieu le guérisse).

-Ma mère, qui a œuvré pour ma réussite, de par son amour, son soutien, tous les sacrifices consentis et ses précieux conseils, pour toute son assistance et sa présence dans ma vie, reçois à travers ce travail aussi modeste soit-il, l'expression de mes sentiments et de mon éternelle gratitude.

-Mes frères et ma sœur

-Mon binôme Sara et sa famille

-Mes copine sNesrine, Nabila, Ghalia, nadia , yamna ,chafia , naima,dalila , razika,sabah,leila,soumia .

-tous mes amis et mes collègues

-Tous que j'aime et tous qui m'aiment

Meriem

Remerciements

Nous remercions tout d'abord Dieu tout puissant de m'avoir donné le courage, la force et la patience d'achever ce modeste travail.

Nous tenons à remercier en premier lieu Mr GUEDMANI Mohamed pour son encadrement et pour l'encouragement et l'intérêt qu'il m'a apporté pour l'accomplissement de ce travail et surtout pour son grande aide et ses qualités humaines.

Nous remercions tous particulièrement les membres de jury qui ont accepté de juger notre travail, ainsi que tous les enseignants qui ont contribué à notre formation.

Nous adressons aussi nos très sincères remerciements à Mr BACHENE, Mr BEKKIR et Mr ELSAID.

Nos remerciements vont également à tous ceux qui nous ont fortement soutenus pendant cette période, qui nous a apporté leur support moral et intellectuel et qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce projet de fin d'études.

Dédicace

Je tiens à remercier en premier lieu dieu le tout puissant qui a éclairé mon chemin pour achever ce travail.

A l'esprit de mes chers parents, qui voulait être avec moi à ce jour pour voir les fruits de leurs sacrifices .

Spécial dédicace à petits de la famille barae tedj Eddine et raid bahae Eddine

A mes chers frères que je les aime (hamid .elyamine .faiçal)

A mes chers sœurs que je les adore (bachira .habiba)

A mon beau-frère (Miloud)

A ma petite famille, grande et petite sans exception.
A toute la famille "SELLOUM" et la famille "SEBTI ".

A ma cher binôme "Meriem "et sa famille

A mes chers amies (Nadia et soumia)
A tous mes amies collègues de la section "SIC"

Pour tous que j'aime et tous qui m'aiment

sara

ملخص:

في هذا المشروع نقترح تقنية جديدة لتوجيه وجمع المعلومات لاستهلاك الطاقة لشبكات الاستشعار على أساس النهج العنقودي LEACH في شبكة محطة قاعدة متنقلة لتوفير الطاقة عند توجيه البيانات. وتهدف لاستغلال بروتوكول التوجيه إلى المحطة الأساسية التي تم التقاطها.

الكلمات الرئيسية شبكات الاستشعار اللاسلكية، بروتوكول التوجيه، استهلاك الطاقة، تقنيات التجميع، التحسين

Résumé

Dans ce projet nous proposons une nouvelle technique de routage et de collecte d'information à basse consommation d'énergie pour les réseaux de capteurs basé sur l'approche de clustering. Notre technique vise à exploiter le protocole de routage LEACH dans un réseau à station de base mobile pour économiser l'énergie dissipée lors de l'acheminement des données capturées à la station de base.

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

Abstract

In this project we propose a new technique for routing and collection of low energy consumption information for sensor networks based on the clustering approach. Our technology aims to exploit the LEACH routing protocol in a mobile base station network to save energy dissipated when routing captured data to the base station.

key words :Networks wireless sensors, routing protocol, Energy consumption, clustering techniques, Optimization

Table des matières

LISTE DES FIGURES.....I

LISTE DES TABLEAU……..…III

LISTE DES ABREVIATIONS……..…..…….…….…..…IV

Introduction Générale.....1

Chapitre I: Généralité Sur Les Réseaux De Capteurs Sans fil

I.1.Introduction…….……..……..……3

I.2. Définition du réseau de capteurs sans fiL……..…...…….....3

I.3. Architecture d'un réseau de capteurs sansfil……..…….....…….…..…4

I.4. Architecture d'un capteur…….……..……..……..……..…5

I.4.1 .type descapteurs…….…….…….....…5

I.5.types de mobilité dans les réseaux de capteurs sans fil……..…...…….……..…6

I.5.1. Mobilité des nœuds…….……..…….…....…...6

I.5.2. Mobilité de sink.…….……..…….…....…7

I.5.3. Mobilité de l'évènement ……..……..……....….....…7

I.6. application des réseaux des capteurs ……...…...…7

I.6.1.application militaire…….....…….....….7

I.6.2.aaplication à la sécurité……..…….…….…....…9

I.6.3.application envirenmentale……..…….....8

I.6.4.application médicale……...…….……..….....…...9

I.7.contraintes,besoin et facteur de conceptioon dans les RCSF……...……10

I.7.1Fiabilité et Tolérance aux fautes. …...…….....……...10

I.7.2 Débit .……..……..……...…..…...10

I.7.3 topologie dynamique…….……..…….…….....……11

I.7.4 énergie limitée ……..……..……..….....…11

I.7.5 Densité de déploiement.……..…….……..…….....…11

I.7.6Absence d'adressage fixe des nœuds…….……..…11

I.7.7Durée de vie du réseau …….…….…….....…11

I.7.8Coût de fabrication ……..…12

I.8. consommation d'énergie dans les RCSF ……...……..…….…...……..…12

I.8.1.énergie de capteur…….…….....…….……12

I.8.2 énergie de traitement …….……..….…12

I.8.3 énergie de communication.…….……...……...….....13

I.9.conclusion…….……...……....…….……13

Chapitre II :routage hiérarchique sur les réseaux de capteurs sans fil

II.1.Introduction.…….……..…….……..……...15

II.2. Caractéristiques d'un protocole hiérarchique……...…….…….…….....15

II.2.1.L'algorithme de Clustering utilisé…….…….....15

II.2.2.La réélection des ClusterHeads……..…….....….16

II.2.3.La nature des clusters générés……..…….……..…...…...16

II.2.4.La communication intra-cluster……...…….……..…..…16

II.2.5.La communication inter-cluster……...…….…….....…..….17

II.2.6.Le niveau d'agrégation de données……..…….……....…….....…17

II.3. Protocoles hiérarchiques existants…….…...…….…….....17

II.3.1.Protocole d'auto-organisation LEACH ……....…….……..…17

II.3.2.Principe général de fonctionnement du protocole LEACH……...……...…18

II.3.2.1La Phase de construction (Set up phase)…….…….....…….....19

II.3.2.1.1.Election des Cluster-heads…….……..…….…19

II.3.2.1.2Annoncées des Cluster-heads……..…...……20

II.3.2.1.3Formation des clusters…….……..……...20

II.3.2.1.4.Création de la table TDMA…….…….....…..21

II.3.2.2.Phase de communication …….……...…….23

II.3.3.Le modèle énergétique…….…...……...24

II.4. L'état de l'art …….……..…….……26

II.4.1.Architecture à puits fixe et nœuds capteurs fixes ..……...……26

II.4.2.Architecture à puits statiques et nœuds capteurs mobiles …..…….....…….26

II.4.3.Architecture à puits mobile et nœuds capteurs mobiles ……..……...…….27

II.4.4.Architectures à puits mobile et nœuds capteurs fixes…….....….....27

II.5. Conclusion …….……..…….…….…...….....…..30

Chapitre III: Evaluation des performance du protocole LEACH avec station de base mobile

III.1. Introduction…….…….…….…….…….…….……31

III.2. La Simulation dans les réseaux de capteurs sans fil…….…….……...……31

III.2.1. Besoins et limitation……..……..……..……..……...……...…31

III.2.2. Le langage MATLAB…….……..…….…….…….…..…….32

III.3. Les cas de la simulation……...…….....……..……..…...32

III.3.1. La modélisation du réseau…….……..……..……..……...33

III.3.2. Les Paramètres de simulation…….……..……..……..….34

III.4. Les Variables de sortie de l'algorithme…..…….……....…..……35

III.5.l'organigramme du protocole leach à station de base mobile …….…....…...36

III.6. Métriques d'évaluation…….……..……..……..……..……..38

III.7.éxplication de notre technique…….……..……..……....……..…38

III.7.1.la méthode de calcul de barycentre d'un ensemble de points…….……38

III.7.2.localisation…….……..……..……..……..……..…….39

III.7.3.Notre contribution et algorithme de programmation sous MATLAB…….…..…..…..39

III.7.4l'organigramme de la nouvelle technique…….…….....……...41

III.8.analyse des résultats de simulation ……..……..……...……..……..…....…..42

III.8.1.résultat de simulation pour un réseau homogéne ……..……..……..……42

III.8.1.1.cas1…….……..……..……..……..……..……..…..42

III.8.1.2.cas 2…….……..……..……..……..……..……..44

III.8.2.résultat de simulation pour le réseau adaptant le ptocole SEP……...……48

III.8.2.1.cas 1…….……..……..……..……...……..……..……..48

III.9.Conclusion…….……..……..……..……...……...…..…50

Conclusion générale…….……..……..……..……...……...……51

Bibliographie …….……..……..……..……..……...……...52

Liste des abréviations

RCSF : Réseau de capteur sans fils

WSN: Wireless Sensors Network

GPS: Global Position System

ADC: Analog to Digital Converters

WBAN: Wireless Body Area Network

TDMA: Time Division Multiple Access

FDMA: Frequency Division Multiple Access

LEACH: Low Energy Adaptive Clustering Hierarchyest

CH: Cluster Head

CDMA: Code Division Multiple Access

MULE: Mobile Ubiquitous LAN Extensions

PDA: personal Digital Assistant

SB: station de base

MAC: Medium access control

Liste des figures

Chapitre I : Généralité sur les réseaux des capteurs sans fil

Figure I.1. Réseau de capteur sans fil (WSN) 3

Figure I.2. Architecture générale d'un réseau de capteurs sans fils 4

Figure I.3. Différents type de Sink.....6

Figure I.4. Applications à la sécurité.....8

Figure I.5. Application médicale.....9

Figure I.6. Consommation d'énergie en captage, traitement et communication.....13

Chapitre II : Routage hiérarchique sur les réseaux de capteurs sans fil

Figure II.1. LeProtocoled'auto-organisation LEACH 18

Figure II.2. Le déroulement du protocole LEACH en cycles ..... ….....19

Figure II.3. Probabilité Optimale..... . 20

Figure II.4. Répartition du temps et différentes phases dans le cycle de LE..... 21

Figure II.5. Méthodes D'accès Au Médium 22

Figure II.6. Opérations de la Phase de construction (Set up) de LEACH 23

Figure II.7. Opérations de la phase de communication (Steady-state) de LEACH 24

Figure II. 8 Modèle de consommation d'énergie pour la communication.. 25

Figure II.9. Architecture à puits fixe et nœuds capteurs fixes.....26

Figure II.10 . Architecture à puits mobile et nœuds capteurs mobile….....27

Figure II.11. Schéma d'architecture à puits mobile et nœuds capteurs fixes.....…28

Chapitre III : Evaluation d'une nouvelle technique de routage des données dans les WSNs

Figure III.1. Organigramme du protocole Leach standard…….....37

Figure III.2. Organigramme de nouvelle technique…….....41

Figure III.3. La mobilité de la station de base selon le barycentre des clusters Head..….....42

Figure III.4. La stabilité du réseau.....43

Figure III.5. L'énergie résiduelle par tour……..…….....43

Figure III.6. Nombre de paquets envoyés vers la SB par rends**…….....….....….....**44

Figure III.7. L'énergie résiduelle dans les réseaux dans les 4 protocoles **…….....**45

Figure III.8. Nombre des paquets envoyé à la station de base dans les 4 protocoles 46

Figure III.9. Stabilité de réseau dans les 4protocoles**….....**47

Figure III.10. Stabilité de réseau entre sep et sep modifié **…….….....**48

Figure III.11. l'énergie résiduelle dans les 3 protocoles **……..……..….….....**49

Figure III.12. Nombre des paquets envoyé à la SB**……..…….....**49

Liste des tableaux

Chapitre 2 : Routage hiérarchique sur les réseaux de capteurs sans fil

Tableau 1 : Tableau comparatif des différentes architectures utilisées**….....**29

Chapitre 3: Evaluation des performances du protocole Leach avec station de base mobile

Tableau 1: Les paramètres des simulations**. ……..…..**35

INTRODUCTION GENERALE

Les réseaux de capteurs sans fil (RCSF) sont des réseaux ad hoc généralement constitués d'entités autonomes miniaturisées appelés nœuds capteurs pouvant communiquer entre eux par liaison radio. Les RCSF ont suscité beaucoup d'engouement dans la recherche scientifique en raison notamment des nouveaux problèmes de routage sous forte contrainte de durée de vie du réseau et de faibles capacités des nœuds. Malgré la miniaturisation et la réduction du coût de fabrication, ces capteurs sont généralement dotés de ressources limitées en termes de puissance de transmission, de capacité de traitement et de stockage des données et d'énergie.

La technique des WSNs peut être appliquée dans de nombreux domaines : surveillance des déplacements des véhicules en zone hostile, observation de la vie des espèces rares, surveillance de la structure des infrastructures, optimisation de traitement pour les patients etc.

Le routage est fondamental dans ce type de réseau car il n'existe pas d'infrastructure qui gère les informations échangées entre les différents nœuds du réseau (comme par exemple les routeurs dans les réseaux filaires). En effet, c'est à chaque nœud du réseau de jouer le rôle d'un routeur. Ainsi, tous les nœuds collaborent afin de router une information vers une certaine destination.

Le routage de données dans les réseaux de capteurs sans fil (WSNs) est reconnu comme un domaine de recherche très actif vu les spécificités de ce type de réseau, où la consommation de l'énergie et le passage à l'échelle sont considérés comme les défis majeurs des protocoles de communication proposés.

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 . Plusieurs solutions de routage hiérarchiques utilisent la technique du Clustering pour minimiser la consommation de l'énergie ; à titre d'exemples : le protocole de routage hiérarchique et de clustering LEACH. Néanmoins, des améliorations restent à apporter pour achever de meilleures performances.

La station de base peut être mobile. Autrement dit, nous pouvons imaginer un réseau de capteurs fixes déployé; la collecte des informations pourrait se faire lors du passage automatisé d'une station de base mobile. Plusieurs choix peuvent être faits. La station peut passer par chaque capteur pour récupérer les informations, il s'agit alors simplement pour le capteur de transmettre ses données lorsqu'il détecte un puits à portée radio.

L'objectif de ce mémoire est de traiter le problème du routage et de collecte de données dans les réseaux de capteurs. Le souci principal est de prolonger la vie du système en économisant l'énergie dépensée par chaque capteur du réseau. Pour cela, nous avons proposé une technique qui adopte le protocole de référence LEACH avec une station de base mobile conditionnée et voir les performances que peut apporter.

Ce manuscrit et composé de trois chapitres :

Le premier chapitre est consacré aux généralités des réseaux de capteurs sans fils, les contraintes et les domaines d'application.

Dans le deuxième chapitre nous allons voir les techniques de routage hiérarchique utilisant le clustering ainsi qu'un état de l'art sur l'architecture des réseaux de capteurs sans fils qui utilisent la mobilité.

Le dernier chapitre présente les scénarios et évaluation des résultats de simulations d'un réseau de capteur qui adopte le protocole LEACH avec station de base mobile, ainsi avec un protocole SEP avec station de base mobile. Et enfin, nous présenterons une conclusion générale qui résume nos contributions et définie nos perspectives de recherches pour nos travaux futures.

Chapitre I

Généralités sur les réseaux de capteurs sans fil

I.1. Introduction

Les réseaux de capteurs sans fil (RCSFs ou WSNs : Wireless sensor networks en anglais) sont devenus de plus en plus omniprésents.

Les RCSFs sont des réseaux de nœuds sans fil dédiés à des applications spécifiques. Ils sont considérés comme un type particulier des réseaux Ad-hoc, dans lesquels les nœuds sont des capteurs intelligents (smart sensors).

Ce chapitre donne un aperçu sur les différentes technologies des réseaux sans fil. Nous allons présenter les réseaux de capteurs sans fil : leurs architectures, architecture d'un capteur, les Types de mobilité dans les réseaux de capteurs sans fils, Nous allons discuter également leur applications ainsi que leur principaux Contraintes, Besoins et facteurs de conception qui influencent leur conception.

Finalement, nous présenterons la consommation de l'énergie.

I.2. Définition des réseaux de capteurs sans fil

Un réseau de capteurs sans fil est un ensemble de nœuds capteurs dont le nombre varie de quelques dizaines d'éléments à plusieurs milliers voire des millions. Les capteurs ne sont pas intégrés à une quelconque architecture de communication préexistante, mais ils communiquent à l'aide d'un réseau Ad Hoc sans fil. L'alimentation électrique de chaque capteur est assurée par une batterie individuelle dont la consommation pour la communication et le calcul lié au traitement de l'information doit être optimisée [1].

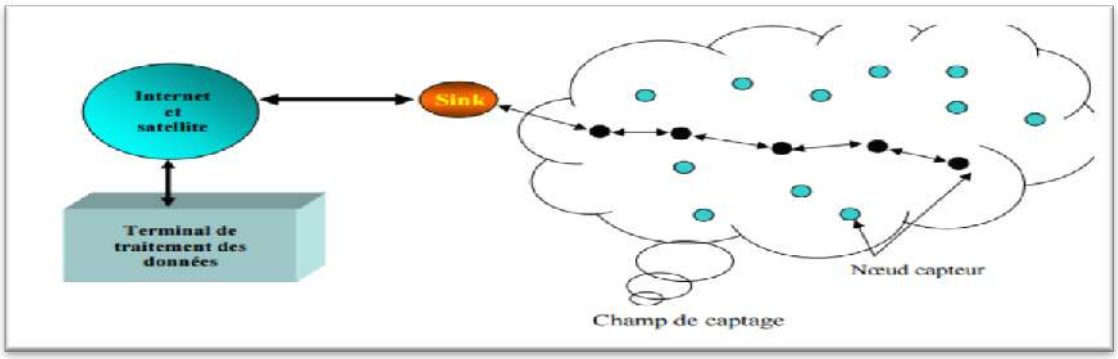


Figure I.1. *Réseau de capteur sans fil (WSN)*

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

Un RCSF est constitué typiquement d'un champ de captage, plusieurs nœuds capteurs, une station de base et un centre de traitement de données.

- Le champ de captage (espace de collecte) : il représente la zone d'intérêt pour les phénomènes capté, donc les nœuds capteurs y sont placés

- les Nœuds de capteurs : ils sont des capteurs, leur rôle est de collecter les données et les transmettre à la station de base. ils ont une énergie limitée puisque ils sont alimentés par des batteries

- Sink (station de base, puits): c'est un nœud particulier du réseau. Chargé de collecter, stocker et traiter les données en provenance des autres nœuds. Il doit être toujours actif puisque l'arrivée des informations est aléatoire. 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 Sink ou plus pour alléger la charge

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

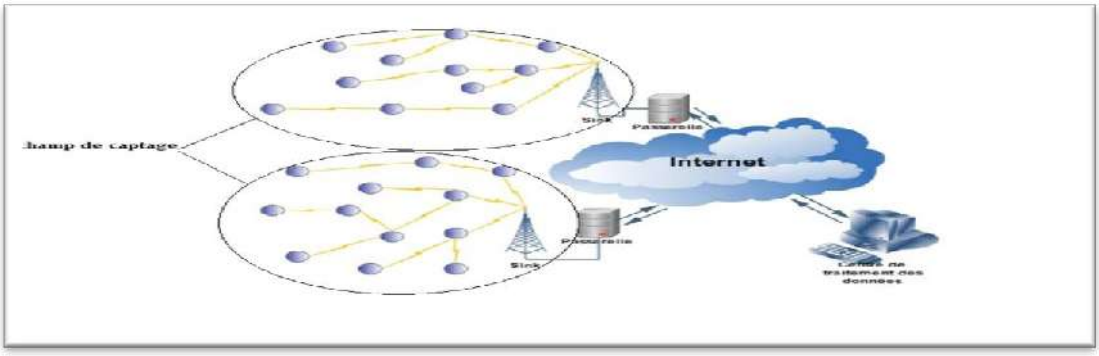


Figure I.2. *Architecture générale d'un réseau de capteurs sans fils*

I.4. Architecture d'un capteur

Les capteurs sont des dispositifs de taille extrêmement réduite avec des ressources très limitées, autonomes, capable 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.

Un nœud capteur contient quatre unités de base : l'unité de captage, l'unité de traitement, l'unité de transmission et l'unité de contrôle d'énergie. Il peut contenir également, suivant son domaine d'application, des modules supplémentaires tels qu'un système de localisation (GPS), ou bien un système générateur d'énergie (cellule solaire). Chacune de ces unités sera détaillée dans ce qui suit :

- L'unité de captage (Sensing unit) : C'est le composant principal d'un nœud sans fil, elle est composée de deux sous unités, un dispositif de capture physique qui prélève l'information de l'environnement local et un convertisseur analogique/numérique appelé ADC (Analog to Digital Converters)
- L'unité de traitement (Processing unit) : L'unité de traitements est le contrôleur principal du nœud sans fil, cette unité est chargée de gérer les procédures de communication qui permettent de collaborer un nœud avec des autres nœuds pour effectuer certaines tâches, ellepermet aussi à un nœud d'exécuter des opérations de détection.
- L'unité de transmission (Transceiver unit):Cette unité est responsable d'effectuer toutes les émissions et réceptions des données, elle est composée d'un émetteur/récepteur (module radio) permettant la communication entre les différents nœuds du réseau. L'unité de transmission est l'unité qui consomme le plus d'énergie par rapport aux précédentes unités.
- L'unité de contrôle d'énergie (Power unit) : c'est la batterie qui n'est généralement ni rechargeable ni remplaçable. Elle alimente les unités citées précédemment. Les unités d'énergie peuvent être supportées par des photopiles qui permettent de convertir l'énergie lumineuse en courant électrique.

I.4.1Types des nœuds

Dans un réseau de capteurs il existe deux types de nœuds : nœud source et nœud Sink.

- ❖ Un nœud source : est n'importe quelle entité dans le réseau qui peut fournir de l'information
- ❖ Un nœud Sink : est l'entité où les données sont récupérées.

En principe il Ya 3 types de Sink :

- Un nœud appartenant au réseau comme n'importe quel autre nœud.
- Une entité extérieure au réseau, Pour ce deuxième cas, le Sink peut être un dispositif extérieur, par exemple, un ordinateur portatif ou un PDA interagissant avec le réseau.
- Une passerelle vers un autre réseau tel qu'Internet, où la demande de l'information vient d'un certain centre de traitement lointain.

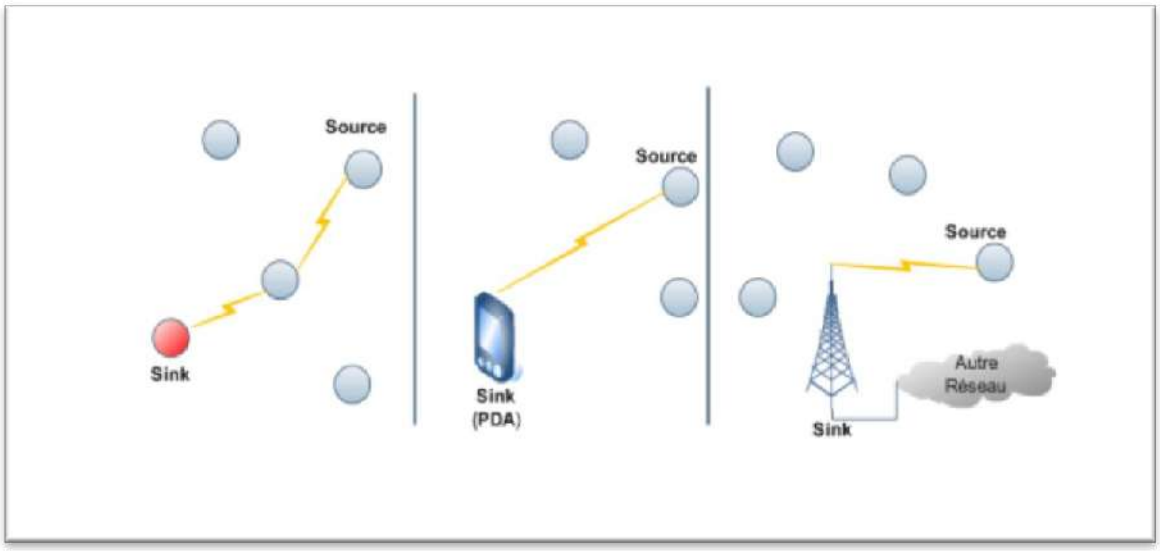


Figure I.3. *Différents type de Sink*

La figure 3 illustre les principaux types de Sink et montre des sources et des Sink en communication directe [2].

I.5. Types de mobilité dans les réseaux de capteurs sans fils

Dans les réseaux de capteurs sans fils, la mobilité peut apparaître sous trois formes principales

I.5.1 Mobilité de nœud

La signification d'une telle mobilité est fortement liée l'application en question. Face à la mobilité du nœud, le réseau doit se réorganiser assez fréquemment pour pouvoir fonctionner correctement.

I.5.2 Mobilité du Sink

C'est un cas spécial de mobilité de nœud, et c'est notre cas dans ce mémoire, dont on travail juste avec la station de base qui se mobilise, l'aspect important c'est la mobilité d'un récepteur d'informations.

I.5.3 Mobilité de l'événement

Ce type de mobilité existe essentiellement dans les applications de détection des événements et de suivit des cibles. Dans un tel type d'application, il est (habituellement) important que l'événement observé soit couvert par un nombre suffisant de nœuds. Par conséquent, les nœuds vont se réveiller autour de l'objet, pour le surveiller avec un taux d'activité élevée, et puis entrent en sommeil (Sleepmode). Pendant que la source d'événement se déplace à travers le réseau, elle est accompagnée d'un secteur d'activité dans le réseau qui le suit (c'est le modèle de frisbee).

I.6. Applications des réseaux de capteurs

Parmi les domaines où ces réseaux peuvent offrir les meilleures contributions, nous citons les domaines : militaire, environnemental, domestique, santé, sécurité, etc. Des exemples d'applications potentielles dans ces différents domaines sont exposés ci-dessous.

I.6.1 .Applications militaires

Comme beaucoup de technologie de l'information, le domaine militaire a été un moteur initial pour le développement des réseaux de capteurs, Le déploiement rapide, le coût réduit, l'auto-organisation et la tolérance aux pannes des réseaux de capteurs sont des caractéristiques qui rendent ce type de réseaux un outil appréciable dans un tel domaine :

-Surveillance de champ de bataille : Les capteurs peuvent être déployés dans un champ de bataille pour contrôler la présence des forces et des véhicules, et suivre leurs mouvements, ce qui permet une surveillance proche des forces opposées.

– Protection des objets : Les nœuds capteurs peuvent être déployés autour des objets sensibles, par exemple, les usines atomiques, les ponts stratégiques, les pipelines de pétrole et de gaz, les centres de communication et le siège militaire, à des fins de protection.

– Guidage intelligent : Les capteurs peuvent être montés sur des robots véhicules sans pilote, des chars, des avions de combat, des sous-marins, des missiles, des torpilles afin de les guider à travers les obstacles à leurs objectifs et de les amener à coordonner les uns avec les autres pour accomplir des attaques ou des défenses plus efficaces.

– Télédétection : Les capteurs peuvent être déployés pour la télédétection des armes nucléaires, biologiques et chimiques, la détection d'éventuelles attaques terroristes et leur reconnaissance [3]

I.6.2. Applications à la sécurité



Figure I.4. *Applications à la sécurité***.**

Les réseaux de capteurs peuvent être utilisés dans de nombreuses applications de sécurité et de surveillance. L'intégration des capteurs dans de grandes structures telles que les ponts ou les bâtiments aidera à détecter les fissures et les altérations dans la structure suite à un séisme ou au vieillissement de la structure. Le déploiement d'un réseau de capteurs de mouvement peut constituer un système d'alarme qui servira à détecter les intrusions dans une zone de surveillance

I.6.3 : Applications environnementales

La surveillance de l'environnement est l'une des premières applications des réseaux des capteurs sans fil. Dans la surveillance de l'environnement, des capteurs sont utilisés pour surveiller une variété de paramètres ou des conditions environnementales.

– Surveillance de la qualité de l'air ou de l'eau : Les capteurs peuvent être déployés sur le sol ou sous l'eau pour surveiller la qualité de l'air ou de l'eau. Par exemple, la surveillance de la qualité de l'eau peut être utilisée dans le domaine de l'hydrochimie. La surveillance de la qualité de l'air peut être utilisée pour le contrôle de la pollution atmosphérique.

– Surveillance des risques : Les capteurs peuvent être utilisés pour surveiller les risques biologiques ou chimiques dans des endroits, par exemple, une usine chimique ou un champ de bataille.

– Surveillance des catastrophes : Les capteurs peuvent être densément déployés dans une région destinée à détecter des catastrophes naturelles ou non naturelles. Par exemple, les capteurs peuvent être dispersés dans les forêts ou dans les endroits à haute pluviométrie pour détecter les feux ou les inondations. Les capteurs sismiques peuvent être instrumentés dans un bâtiment pour détecter la direction et l'amplitude d'un tremblement de terre et de fournir une évaluation de la sécurité du bâtiment.

I.6.4 : Applications médicales

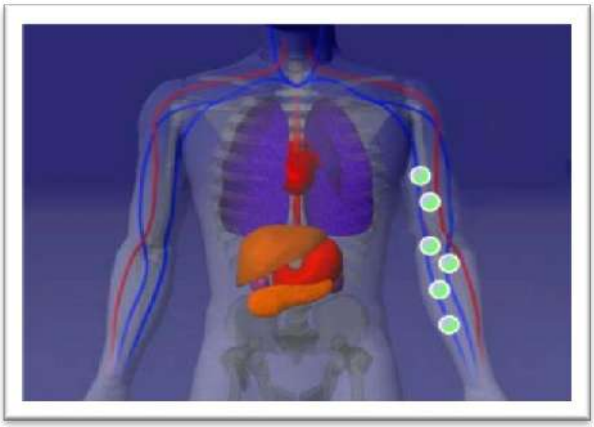


Figure I.5.*application médicale*

Les réseaux de capteurs peuvent être utilisés pour surveiller et suivre les personnes âgées et les patients à des fins de soins de santé, ce qui peut considérablement soulager la grave pénurie de personnel médical et réduire les dépenses dans les systèmes de soins de santé [4].

– Surveillance des comportements : Les capteurs peuvent être déployés dans le domicile d'un patient afin de surveiller son comportement. Par exemple, ils peuvent alerter les médecins quand le patient tombe et nécessite une attention médicale immédiate. Ils peuvent surveiller ce que le patient est en train de faire et fournir des rappels ou des instructions sur une télévision ou à la radio.

– Suivi médical : Les capteurs portables peuvent être intégrés dans un réseau du corps sans fil (WBAN) pour surveiller les signes vitaux, les paramètres environnementaux et les emplacements géographiques, et permettent ainsi un suivi à long terme, non invasif et ambulatoire des patients ou des personnes âgées avec des alertes instantanées aux soins en cas d'urgence. Ils permettent aussi la réception des rapports immédiats aux patients concernant leurs états de santé actuels et la mise à jour des dossiers médicaux des usagers [5].

I.7. Contraintes, Besoins et facteurs de conception de RCSF

I.7.1Fiabilité, Tolérance aux fautes et adaptabilité

La fiabilité d'un système est la probabilité que le système fonctionne normalement durant une certaine période de temps (sans interruptions). Cela peut être vu comme la probabilité que le système fonctionne quand nécessaire. La période n'est pas fixée et varie suivant les systèmes considérées [6]

La fiabilité peut échouer en raison du manque d'énergie, de dommages physiques, de problèmes de communication, d'inactivité ou d'interférence environnementale.

Le réseau devrait pouvoir détecter l'échec d'un nœud et s'organiser, se reconfigurer et récupérer des échecs de nœud sans desserrer aucune information

Les réseaux de capteurs sont obligés pour fonctionner en s'adaptant aux changements environnementaux que les capteurs contrôlent. Les réseaux devraient être autodidactes.

I.7.2 Débit

Afin de minimiser l'énergie consommée lors de transfert de données entre les nœuds, les capteurs opèrent à bas débit. Typiquement, le débit utilisé est de quelques dizaines de Kb/s. Un débit de transmission réduit n'est pas handicapant pour un réseau de capteurs où les fréquences de transmission ne sont pas importantes.

.I.7.3 Topologie dynamique

La dynamicité du réseau découle des défaillances des nœuds ou des cassures des liens entre ceux-ci. Le réseau de capteurs a une forte dynamicité de topologie surtout lorsqu'il s'agit d'un réseau mobile. Elle change d'une manière fréquente suite à la mobilité continue des nœuds qui forment la topologie du réseau. Le redéploiement et l'ajout d'autres nœuds peuvent être envisagés pour pallier quelques défaillances. Le réseau de capteurs doit pouvoir se réorganiser rapidement avec un coût énergétique réduit. Le redéploiement, la mobilité et les défaillances font varier la topologie du réseau, dont la connexité n'est pas toujours assurée.

I.7.4 Energie limitée

La capacité d'énergie limitée au niveau des capteurs représente la contrainte principale lors de conception de protocoles pour les réseaux de capteurs.

Les RCSF visent la consommation d'énergie puisque l'alimentation de chaque nœud est assurée par une source d'énergie limitée et généralement irremplaçable à cause de l'environnement hostile où il est déployé. De ce fait, la durée de vie d'un RCSF dépend fortement de la conservation d'énergie au niveau de chaque nœud.

I.7.5 Densité de déploiement

Le nombre de nœuds capteurs peut atteindre des millions de nœuds pour permettre une meilleure granularité de surveillance. De plus, si plusieurs nœuds capteurs se retrouvent dans une région, un nœud défaillant pourra être remplacé par un autre. Cependant, la densité de déploiement donne naissance à des challenges pour la communication entre les nœuds. En effet, elle provoque des collisions ou des endommagements des paquets transmis.

I.7.6 Absence d'adressage fixe des nœuds

Les nœuds dans les réseaux sans fil classiques sont identifiés par des adresses IP. Cependant, cette notion n'existe pas dans les RCSF. Ces derniers utilisent un adressage basé sur l'attribut du phénomène capté, on parle donc de l'adressage basé-attribut. En effet, les requêtes des utilisateurs ne sont pas généralement destinées à un seul nœud, mais plutôt, à un ensemble de nœuds identifiés par un attribut

I.7.7 Durée de vie du réseau

La durée de vie est un élément essentiel pour tout réseau de capteurs sans fil. Le but de n'importe quelle application est d'avoir des nœuds placés sur le terrain pour des mois ou des années. Le principal facteur limitant la durée de vie d'un réseau de capteurs est l'énergie. Comme la seule source d'énergie d'un capteur est une batterie à durée de vie limitée, l'optimisation énergétique doit être prise en considération quel que soit le problème traité. En effet, un réseau de capteurs ne peut pas survivre si la perte de nœuds est très importante car ceci engendre des pertes de communications dues à une très grande distance entre les nœuds restants. Donc il est très important que les batteries durent le plus longtemps possible, étant donné que dans la plupart des applications il est impossible de retourner les changer

I.7.8 Coût de fabrication

Le coût de production d'un seul micro-capteur est très important pour l'évaluation du coût global du réseau, si ce dernier est supérieur à celui nécessaire pour le déploiement des capteurs classiques, l'utilisation de cette nouvelle technologie ne serait pas financièrement justifiée. Par conséquent, réduire le coût de production jusqu'à moins de 1$ par nœud est un objectif important pour la faisabilité de la solution des réseaux de capteurs sans fil [7].

I.8. Consommation d'énergie dans les RCSF

L'énergie consommée par un nœud capteur est due essentiellement aux opérations suivantes : la capture, le traitement et la communication de données [8]

I.8.1. Energie de capture

L'énergie de capture représente un faible pourcentage de l'énergie totale consommée par un nœud

Elle est dissipée pour accomplir les tâches suivantes : échantillonnage, traitement de signal, conversion analogique/numérique et activation de la sonde du capture.

I.8.2. Energie de traitement

L'énergie de traitement est composée de deux sortes d'énergie: l'énergie de commutation et l'énergie de fuite. L'énergie de commutation est déterminée par la tension d'alimentation et la capacité totale commutée au niveau logiciel (en exécutant un logiciel). 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.8.3. Energie de communication

L'énergie de communication se décline en trois parties: l'énergie de réception, l'énergie de l'émission et l'énergie en état de veille. Cette énergie est déterminée par la quantité des données à communiquer et la distance de transmission, ainsi que par les propriétés physiques du module radio. L'émission d'un signal est caractérisée par sa puissance ; quand la puissance d'émission est élevée, le signal aura une grande portée et l'énergie consommée sera plus élevée. Notons que l'énergie de communication représente la portion la plus grande de l'énergie consommée par un nœud capteur.

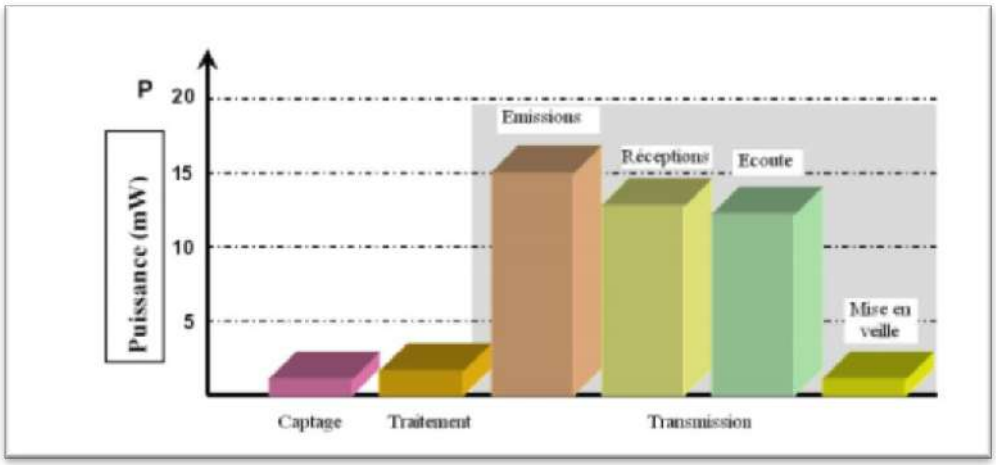


Figure I.6. *Consommation d'énergie en captage, traitement et communication*

I.9 .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 le deuxième chapitre de ce projet, Nous nous intéressons à la présentation des Routage hiérarchique sur les réseaux de capteurs sans fil.

Chapitre II

Routage hiérarchique sur les réseaux de capteurs sans fil

II.1) Introduction

Pour améliorer le passage à l'échelle des protocoles et garantir plus d'économie en énergie, la hiérarchisation virtuelle des réseaux peut être adoptée. Cela consiste à regrouper les nœuds en groupe dits « Cluster » où chaque cluster est représenté par un seul nœud appelé « Cluster Head ». Nous pouvons distinguer deux types de sélection de cette hiérarchisation: le premier est physique, où le choix du représentant est basé sur les capacités physique du capteur (plus de mémoire, plus de capacité de stockage,…etc.); dans ce cas, on parle d'un réseau de capteurs hétérogènes. Dans le deuxième type, des capteurs physiquement identiques sont utilisés, et le choix du Cluster Head se base sur plusieurs critères; à savoir, l'identifiant, la distance au puits, l'énergie résiduelle,…etc.

II.2. Caractéristiques d'un protocole hiérarchique

Un protocole de routage hiérarchique doit spécifier plusieurs tâches que nous pouvons classer selon:

II.2.1. L'algorithme de Clustering utilisé

Plusieurs algorithmes sont proposés dans la littérature, un classement en trois types de ces algorithmes est proposé dans ***[09]*** en se basant sur le type d'algorithme de contrôle exécuté:

- Centralisé : l'algorithme exécuté sur le nœud qui a une vue globale du réseau, généralement, au niveau du puits. Ce type d'algorithme est peu utilisé à cause de l'over Head généré suite aux transmissions exécutées pour pouvoir garder la vue globale du réseau et la dynamique de la topologie qui fait que cette vue soit très variable. La vue obtenue par un nœud peut ne plus être valide à l'instant où le nœud la récupère à cause des pannes et des imprévisibles déconnexions.
- Distribué : l'algorithme est exécuté en coopération au niveau de chaque nœud du réseau. La synchronisation des tâches de contrôle est obtenue en échangeant des messages de contrôle. Ce type d'algorithmes minimise la communication relative à la sauvegarde de la vue globale durés eau, car chaque nœud décide, indépendamment des autres, de son rôle et fait connaitre sa décision par l'envoi de message. Cependant, l'efficacité de ces algorithmes dépend de la taille et du nombre de ces messages de synchronisation.

- Géographique: l'algorithme de la tâche de contrôle à exécuter par un nœud dépend de sa position géographique.

II.2.2. La réélection des ClusterHeads

Par sa fonction, le nœud ClusterHead consomme plus d'énergie par rapport aux autres nœuds du réseau. Le ClusterHead coordonne le fonctionnement des nœuds membres de son cluster et agrège leurs données, de ce fait, il dissipe plus d'énergie créant un déséquilibre de la distribution de l'énergie sur le réseau. Pour pallier à ce problème, une rotation de ce rôle de ClusterHead est organisée au sein du cluster ou bien au sein du réseau entier. La rotation est effectuée périodiquement ou bien en fonction de la consommation de l'énergie du nœud ClusterHead [09].

II.2.3. La nature des clusters générés

Les algorithmes de Clustering utilisés peuvent générer deux types de cluster: des clusters disjoints et des clusters interconnectés (Overlapped). Dans le premier type, un nœud ne peut appartenir qu'à un et un seul cluster à la fois (le cas le plus fréquent); sauf que pour des applications spécifiques telles que le routage inter-cluster, la localisation et la synchronisation des nœuds; les clusters interconnectés sont utilisés. Ce type de Clustering permet aux nœuds d'appartenir à un ou plusieurs clusters à la fois.

II.2.4.La communication intra-cluster

La communication entre le nœud ClusterHead et les autres nœuds membres du cluster peut se faire, soit en un seul saut soit, en plusieurs sauts. Dans le cas d'une communication direct (en un saut), les paquets de données sont envoyés directement au ClusterHead. Cela suppose que les nœuds membres sont capables d'atteindre le CH en utilisant une transmission assez puissante pour une bonne réception de données. Ce type de communication engendre une consommation importante d'énergie si la distance, entre le CH et les nœuds, est grande.

Pour réduire la consommation de l'énergie, une communication en plusieurs sauts, de petites distances, est utilisée, dans ce cas chaque membre du cluster envoie ses données au plus proche membre de son cluster jusqu'à l'aboutissement au CH. Des communications de type « Unicast » sont souvent utilisées pour réduire le nombre de collisions. On trouve aussi des techniques employées au niveau MAC pour garantir un accès équitable et sans erreurs, à savoir, CDMA (Code Division Multiple Access) en utilisant un code pour chaque cluster, TDMA (Time Division Multiple Access) en allouant pour chaque nœud

du cluster un temps spécifique (dit Frame) pour envoyer ses données, ou bien, FDMA (Frequency Division Multiple Access) où chaque nœud utilise une fréquence spécifique pour l'envoi de données[10].

II.2.5.La communication inter-cluster

Les ClusterHeads communiquent avec la (les) station(s) de base soit directement, soit en deux ou plusieurs sauts via des nœuds appelés généralement des « Nœuds Gateway ». Ces nœuds peuvent être des CH ou bien des nœuds membres d'un cluster. L'utilisation de la communication en multi-sauts permet de réduire la consommation d'énergie et d'augmenter la stabilité du réseau.

II.2.6.Le niveau d'agrégation de données

Selon le type des capteurs utilisés, l'agrégation de données peut se faire à chaque nœud du réseau ou bien uniquement au niveau des ClusterHeads. L'agrégation des données permet de réduire la taille des données échangées entre les nœuds, et par conséquence réduire l'énergie dépensée. Plusieurs techniques d'agrégation sont utilisées à savoir des fonctions élémentaires comme la somme, la moyenne, l'écart type,…etc. ou bien des fonctions plus complexes spécifiques aux applications utilisées.

II.3. Protocoles hiérarchiques existants

Plusieurs exemples de protocoles hiérarchiques sont décrits dans la littérature, nous allons présenter le plus référencé: le protocole leach

II.3.1.Protocole d'auto-organisation LEACH

LEACH (Low Energy Adaptive Clustering Hierarchyest) [11, [12],est le premier et le plus populaire des algorithmes d'auto- organisation hérarchique avec une efficacité énergétique, qui a été proposé pour les réseaux de capteurs sans fil , basé sur le clustering adaptatif, qui utilise la rotation randomisée des chefs des clusters (clusters-head) pour distribuer équitablement la charge d'énergie entre les nœuds capteurs dans le réseau sur le registre des avantages de LEACH, nous citons une réduction d'un facteur de la dissipation d'énergie comparativement avec la communication directe[12]

LEACH est fondé sur deux hypothèses de base:

- La station de base est statique et est placée à la portée de tous les nœuds de réseau.
- Tous les nœuds du réseau sont limités en énergie.

Les caractéristiques principales de l'algorithme LEACH se résument en :

- ✓ Tous les nœuds sont considérés statiques, et régis par la contrainte de consommation d'énergie.
- ✓ Contrôle localisé pour le transfert des données.
- ✓ Formation dynamique des clusters.
- ✓ La rotation aléatoire des chefs de groupes.
- ✓ L'agrégation (fusion) locale des données pour réduire le taux de communications avec la station de base.

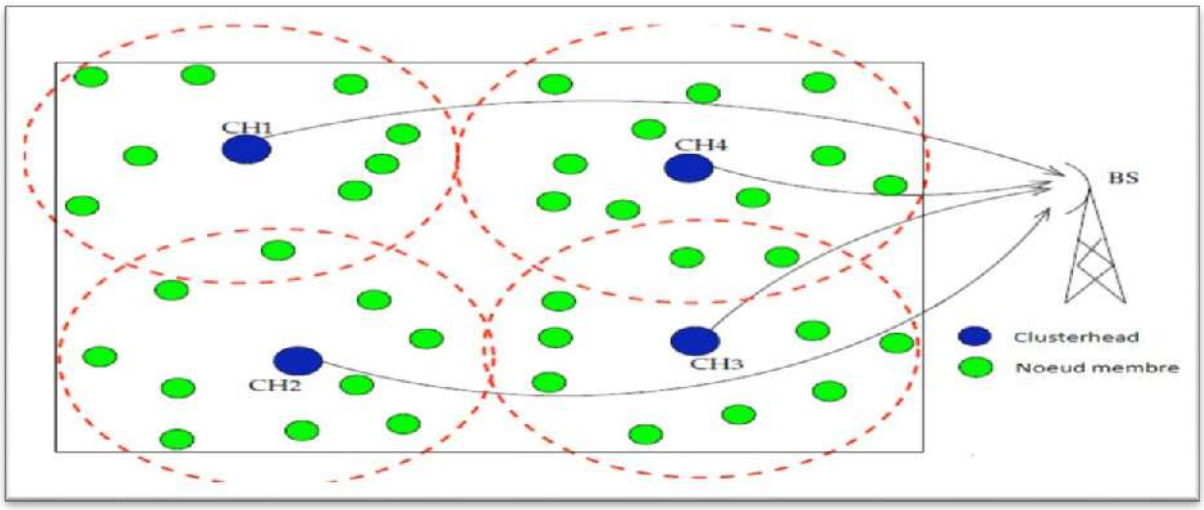


Figure II.1. *Le Protocole d'auto-organisation LEACH*

Figure II.1 LEACH formes des clusters par l'utilisation d'un algorithme hiérarchique (à deux niveaux) distribué, où les nœuds sont autonomes c'est-à-dire qu'ils prennent leurs décisions sans contrôle centralisé. Tous les traitements de données telles que la fusion et l'agrégation se déroulent localement au cluster.

II.3.2. Principe général de fonctionnement du protocole LEACH

LEACH emploie la technique de clustering qui divise le réseau en deux niveaux: les Cluster-Heads (CHs) et les nœuds membres. La vie du réseau est alors segmentée en cycles (rondes ou tours) caractérisées par un choix de cluster-heads de clusters, pour chacun de ces cycles, les cluster-heads sont sélectionnés aléatoirement parmi les capteurs qui n'ont pas été

auparavant élu cluster-heads ,donc le protocole se déroule en cycles. Chaque cycle se compose de deux phases: construction (Set up phase) et communication (Steady-state phase) [13].

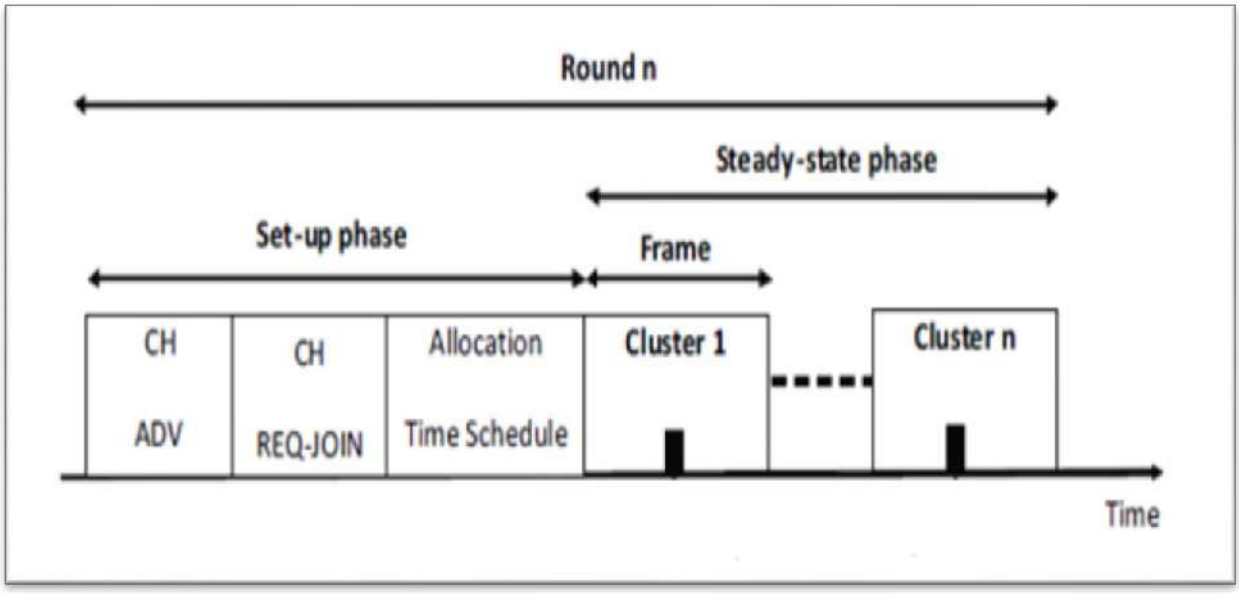


Figure II.2. *Le déroulement du protocole LEACH en cycles [14]*

II.3.2.1. La Phase de construction (Set up phase)

II.3.2.1.1.Election des Cluster-heads

La première phase est la construction des clusters en choisissant les chefs (CHs) et en établissant la politique d'accès au media au sein de chaque groupe. Durant cette phase, chaque nœud n choisit un nombre aléatoire compris entre 0 et 1. Si ce nombre est inférieur à un seuil T(n), le nœud n devient Cluster-heads. T(n) est défini comme suit [15] :

$$T(n)= \begin{cases} \dfrac{p}{1-p[r \bmod(1/p)]} & \text{Si } n \in G \\ 0 & \text{Sinon} \end{cases}$$

Tel que :

- p: le pourcentage des CHs sur le réseau (donné par la courbe de la figure II-3-)
- r : est le numéro de la période courante.
- G : l'ensemble des nœuds n'ayant pas été sélectionnés cluster-Head durant les (1/p) dernières périodes.

La figure II.3-suivante represente le pourcentage (Probabilité) d'étre un cluster- head en fonction de nombre de nœuds d'un réseau de capteurs déployés sur une surface carrée de 100*100(m).

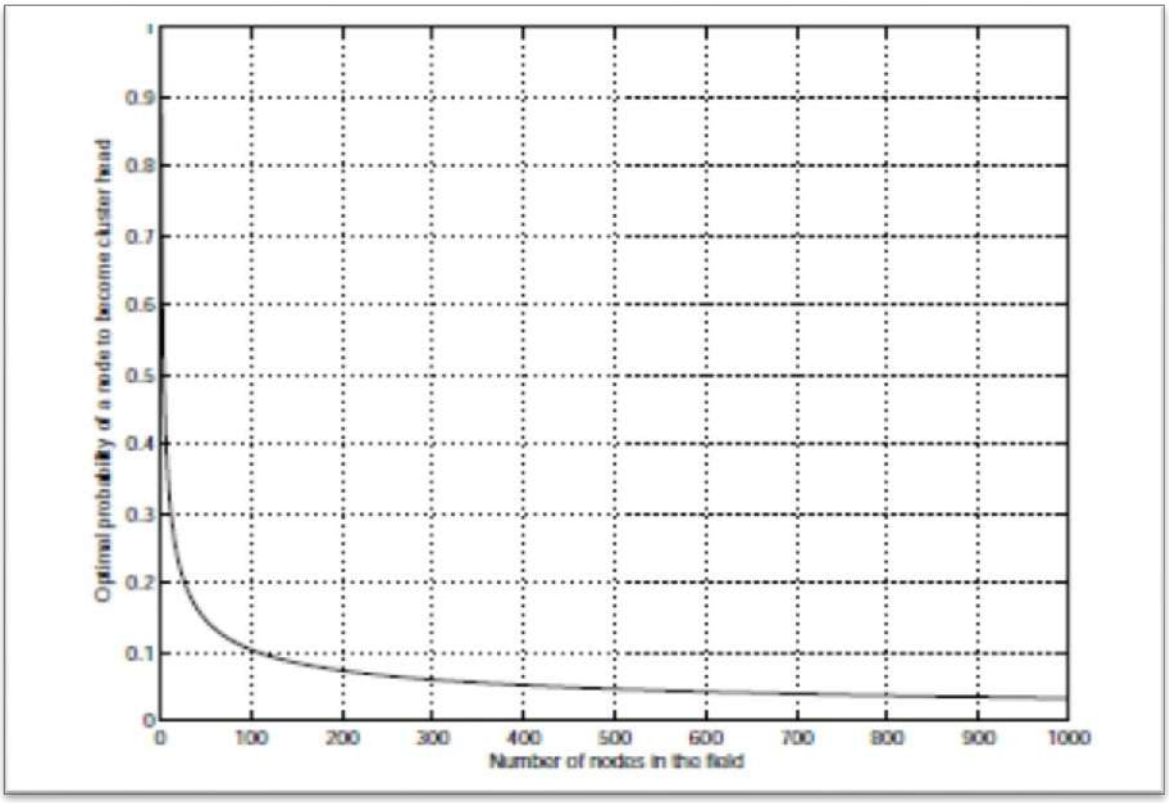


Figure II. 3. *Probabilité Optimale [16]*

II.3.2.1.2. Annoncées des Cluster-Head

Par la suite, chaque nœud qui s'est élu cluster-head émet un message de notification (ADV Advertisment message) à tous ces voisins. Ce dernier est un petit message qui contient l'identifiant (ID) du nœud et un en-tête qui distingue ce message comme une annonce que ce message doit être diffusé pour atteindre tous les nœuds dans le réseau

II.3.2.1.3. Formation des clusters

Les nœuds qui récoltent les messages de notification, décident leur appartenance à un cluster. La décision est basée sur l'amplitude du signal reçu, le cluster-head ayant le signal le plus fort est choisi (i.e. le plus proche). En cas d'égalité, un chef aléatoire est choisi. Chaque membre informe son chef de sa décision tout en lui envoyant une demande d'appartenance (JOIN -REQ). Ce message consisté de l'identifiant ID du nœud et l'identifiant ID cluster-head et l'entête (header).

II.3.2.1.4. Création de la table TDMA

La création d'un modèle de communication intra-cluster sans collision est la dernière étape liée à la phase de clustering. Dans le bit d'éviter les collisions entre les nœuds de même cluster, l'algorithme d'auto-organisation LEACH utilise la méthode de multiplexage temporel (TDMA : Time Division Multiplexed Access) comme méthode d'accès au médium [17].

Chaque nœud utilise la totalité de la bande passante allouée par le système de transmission durant son slots de temps. En fait, chaque CH agit comme un centre de commande local pour coordonner les transmissions de données dans son cluster. Il crée un modèle de communication en se basant sur TDMA, ensuite il transmet ce modèle aux nœuds de son cluster. Etant donné que chaque nœud connait d'avance le slot de temps qu'il va occuper, il est alors permis de passer à l'état endormi durant les slots inactifs. Ainsi, la perte d'énergie due aux états de sur-écoute (overhearing) et d'écoute- passive (idle) est évitée.

Le fonctionnement du protocole est basé sur des cycles ou Ronds (Round) : chaque cycle est constitué de deux phases : la phase Setup et la phase Steady-state. Pendant la phase Setup les nœuds exécutent l'algorithme d'élection de Cluster-heads et les clusters sont formés. La phase Steady-state est la phase du fonctionnement ordinaire du réseau, elle est subdivisée en trames (frame). La trame, à son tour, est subdivisée en Time Slots. La longueur de la trame est variable d'un cluster à l'autre selon le nombre des nœuds du cluster

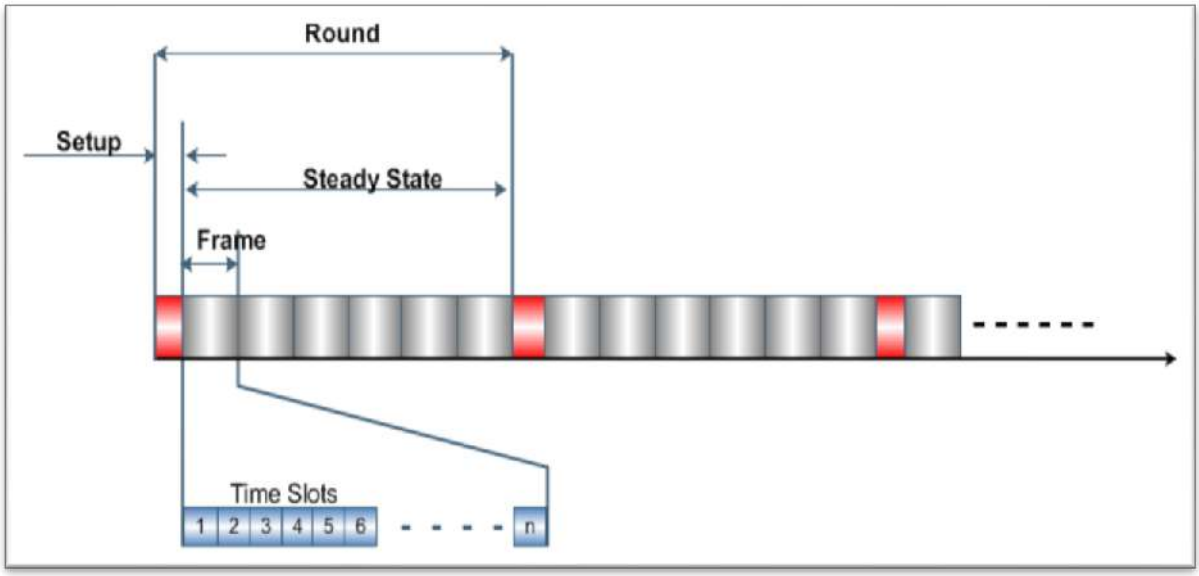


Figure II.4. *Répartition du temps et différentes phases dans le cycle de LEACH*

La figure II.4-précédente illustre la répartition du temps effectuée par LEACH : le Round "cycle", les phases Setup et Steady-State, la répartition en trames et en Time Slots.

Encore Chaque CH choisit aléatoirement un code dans une liste de codes de propagation CDMA (Code Division Multiple Access), il transmet aux nœuds appartenant à son cluster afin de l'utiliser pour leurs transmissions, Ceci afin de minimiser les interférences entre les messages des CHs les plus proches.

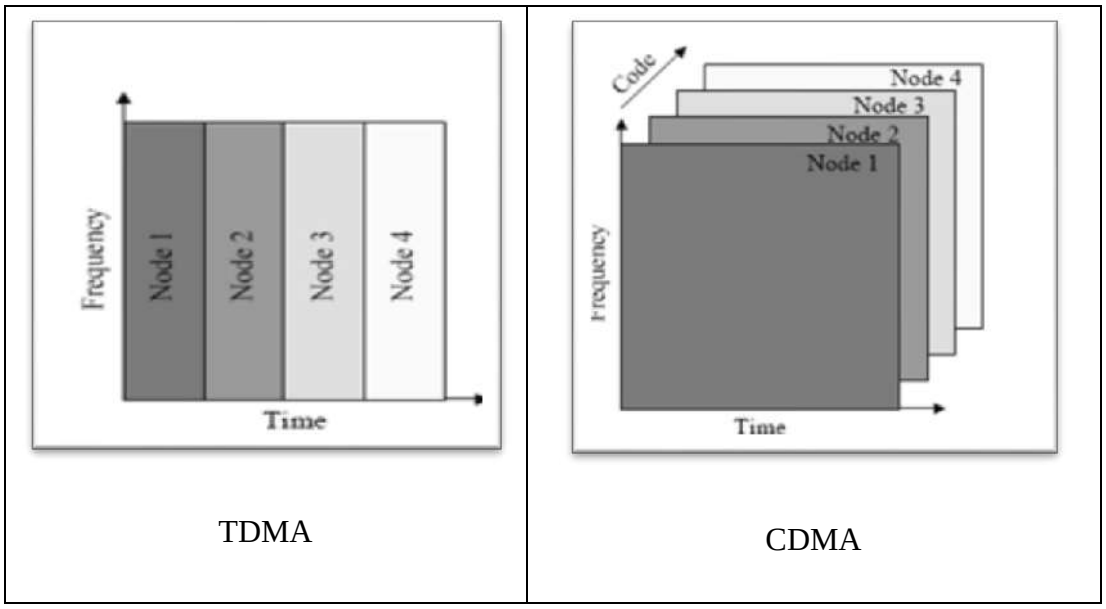


Figure II.5. *Méthodes D'accès Au Médium*

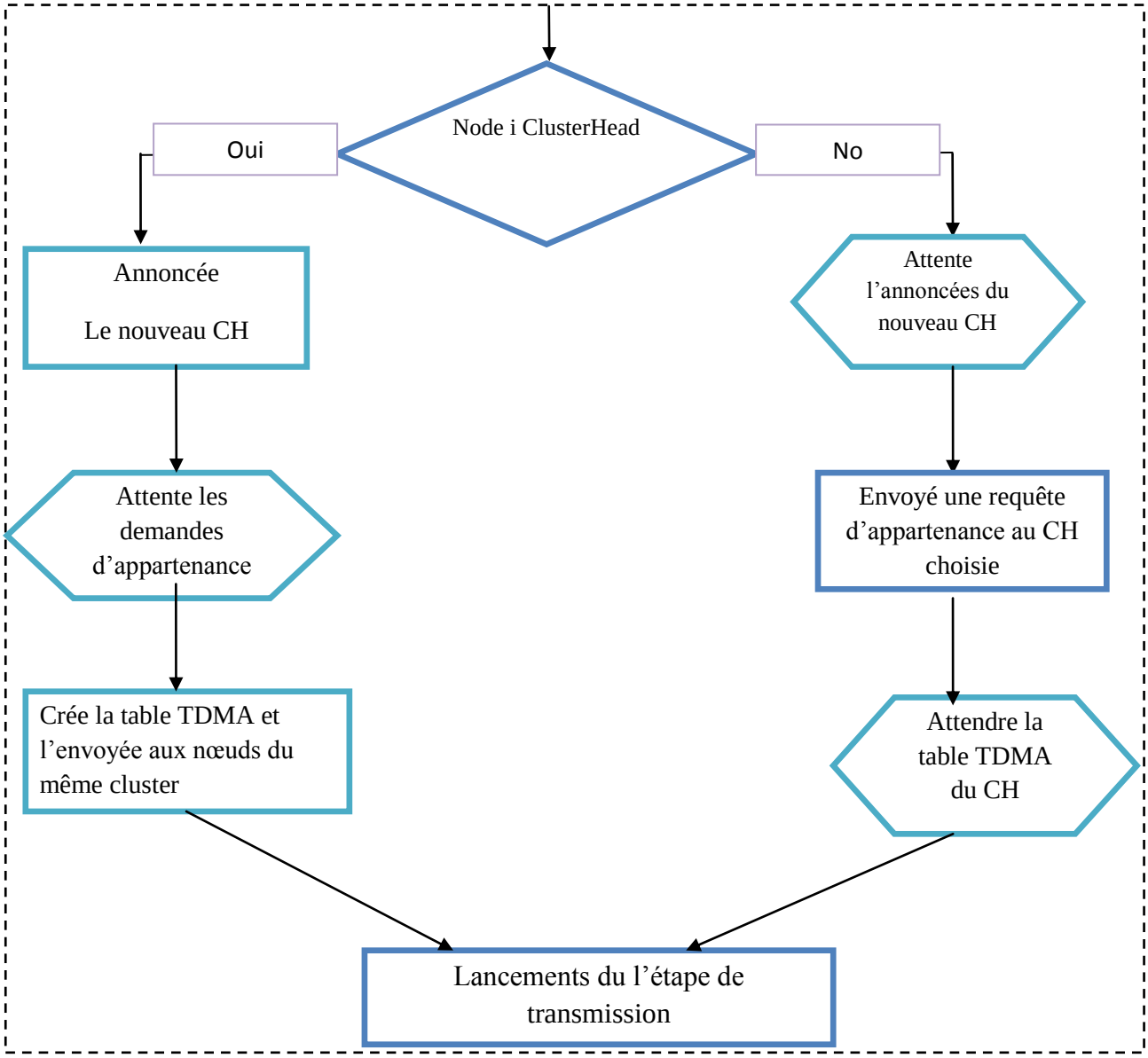


Figure II.6. *Opérations de la Phase de construction (Set up) de LEACH [13].*

II.3.2.2 Phase de communication

Pendant cette phase, les nœuds capteurs peuvent commencer à envoyer leurs données captées au cluster-head pendant leurs propres slots. Cela leur permet d'éteindre leur interface de communication en dehors de leurs slots réservés, afin d'économiser leur énergie. Le cluster-head agrège les données reçues avant de les transmettre au collecteur (Station de base). Cette communication, entre un cluster-head et le collecteur, se fait d'une manière directe, et toutes les communications membre-chef se font avec le code CDMA. Après une certaine période de temps, un nouveau round est initié, et de nouveaux clusters sont établis.

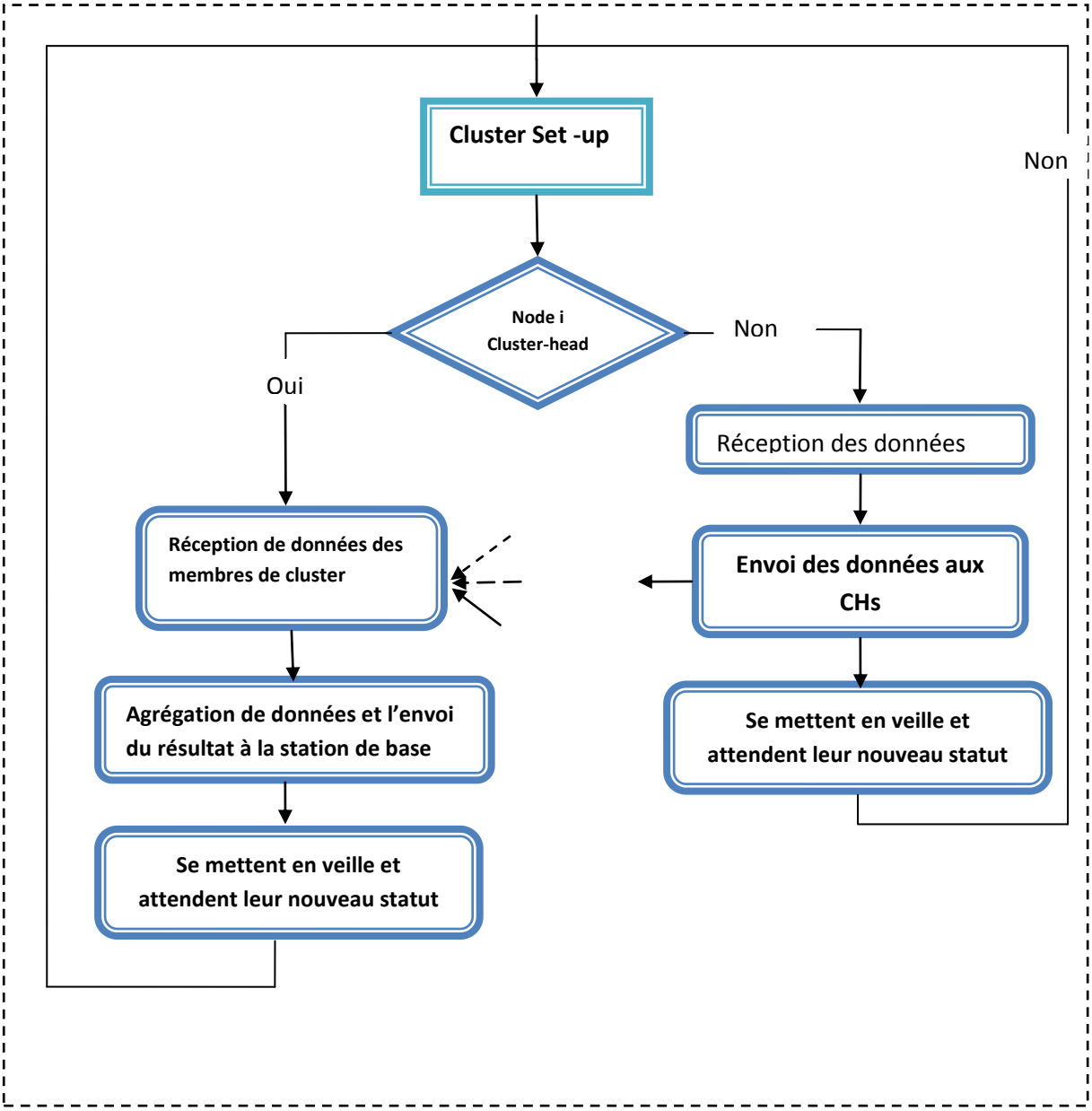


Figure II.7.*Opérations de la phase de communication (Steady-state) de LEACH [13]*

II.3.3Le modèle énergétique

Un capteur utilise son énergie pour réaliser trois actions principales : l'acquisition, la communication et le traitement des données ***[18]*** [16].

- Acquisition : L'énergie consommée pour effectuer l'acquisition n'est pas très importante. Néanmoins, elle varie en fonction du phénomène et du type de surveillance effectuée.

- Communication : Les communications consomment beaucoup plus d'énergie que les autres taches. Elles couvrent les communications en émission et en réception.

Pour transmettre un message de k bits sur une distance de d mètres, l'émetteur consomme :

$$E_{TX}(k,d) = \begin{cases} E_{elec} * k + \varepsilon_{fs} * k * d^2 & \text{si } d <= d_0 \\ E_{elec} * k + \varepsilon_{tr} * k * d^4 & \text{si non} \end{cases}$$

Pour recevoir un message de k bits, le récepteur consomme :

L'énergie consommée pour recevoir un message de taille k (bits) est :

$E_{RX}(k) = E_{elec} * k$

Avec :

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

k : taille d'un message.

d : Distance entre l'émetteur et le récepteur.

ε_{fs} : est le facteur d'amplification du signal pour une distance d'émission inferieur ou égale à la distance seuil d_0 et ε_{tr} : est le facteur d'amplification du signal pour une distance d'émission supérieure ou égale à la distance seuil $d_0 = \sqrt{\frac{\varepsilon_{fs}}{\varepsilon_{tr}}}$

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

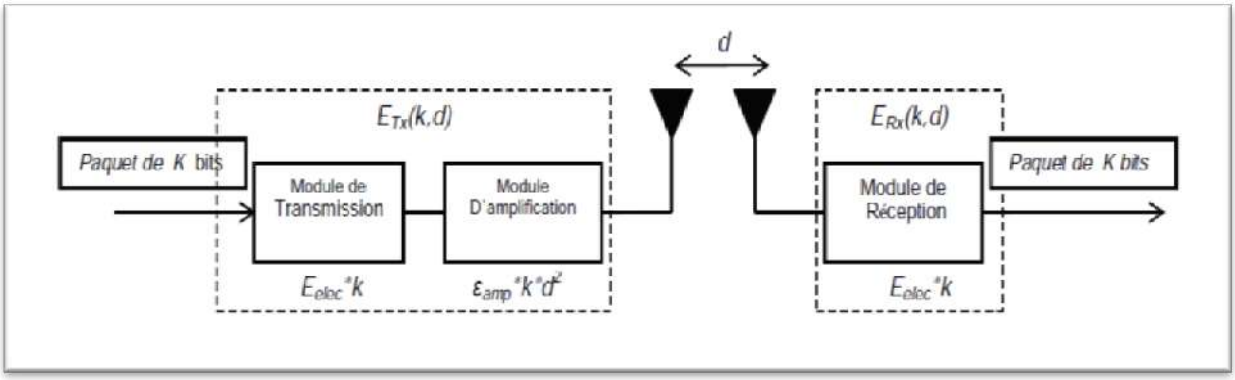


Figure II.8. *Modèle de consommation d'énergie pour la communication [18].*

- Traitement des données : L'énergie consommée pour les opérations de calculs est beaucoup plus faible que l'énergie de consommation.

II.4. L'état de l'art

II.4.1 Architecture à puits fixe et nœuds capteurs fixes

Dans cette architecture classique (Figure II.9) les nœuds capteurs et le puits sont fixes. Les données captées sont relayées au puits fixe.

Ce type d'architecture est caractérisé par une forte densité afin d'avoir toujours au moins un chemin entre deux nœuds quelconques du réseau. Cette forme de collecte de données centralisée peut raccourcir la durée de vie de réseau. En effet, il a été démontré dans les travaux ultérieurs (Li etMohapatra, 2007) (Haenggi, 2004), que l'architecture à puits ou/et collecteur fixe pose le problème de l'épuisement d'énergie des noeuds relais voisins du collecteur fixe. Le relayage de données à un puits fixe peut causer une consommation d'énergie non uniforme sur l'ensemble du réseau. Et on peut avoir une surcharge au niveau des nœuds relais voisins du puits fixe et former ainsi, un goulot de congestion critique.

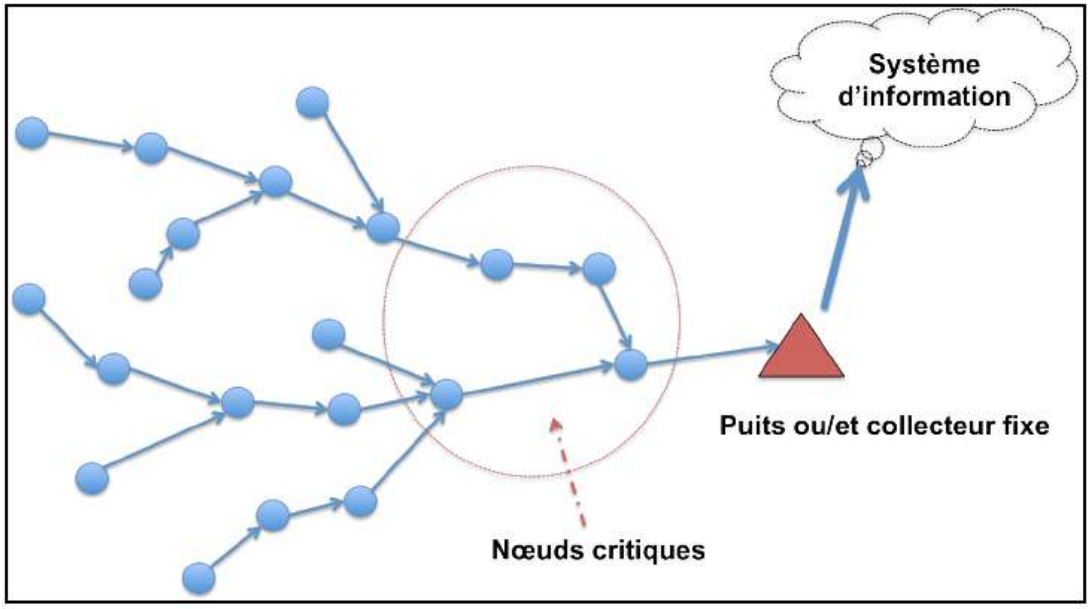


Figure II.9. *Architecture à puits fixe et nœuds capteurs fixes.*

II.4.2Architecture à puits statiques et nœuds capteurs mobiles

Dans ces dernières années, la mobilité des nœuds capteurs a été prise en compte par la communauté scientifique (Chakrabarti et al., 2003) (Kansal et al., 2004) (Ekici et al., 2006) (Gao et al., 2011)(Kondepu et al., 2012). Et une architecture dense n'est plus nécessaire pour assurer une totale couverture de captage de la zone à surveiller et une meilleure connectivité du réseau.

Comme exemple de projets utilisant ce type d'architecture où les noeuds capteurs bougent tandis que le puits est fixe, nous citons le projet COW (Handcock et al., 2009) et le projet CENWITS (Huang et al.,2005).

II.4.3 Architecture à puits mobile et nœuds capteurs mobiles

Dans ce type d'architecture, la mobilité est considérée aussi bien au niveau du puits collecteur de données qu'au niveau des nœuds capteurs déployés sur la zone d'intérêt ,comme type d'applications environnementales utilisant ce type d'architecture nous trouvons le projet de suivi des zèbres (ZebraNet) (Juang et al. 2002).

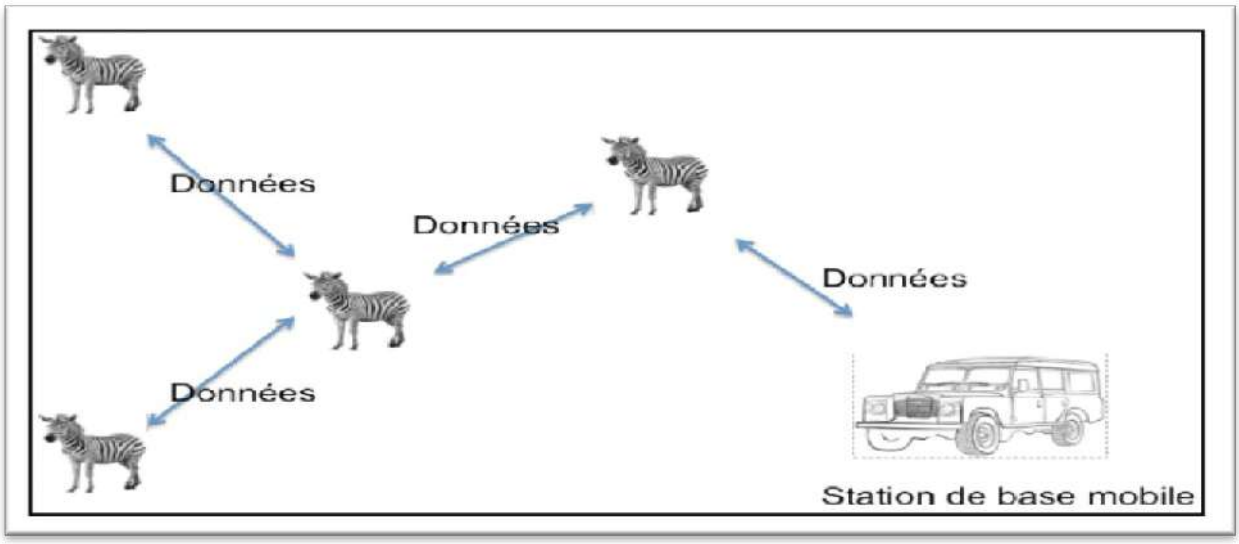


Figure II.10. *Architecture à puits mobile et nœuds capteurs mobile.*

II.4.4. Architectures à puits mobile et nœuds capteurs fixes

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 des MULEs (Mobile Ubiquitous LAN Extensions) (Shah et al., 2003) (Jea et al., 2005), ou 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 (Chakrabarti et al., 2003).

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 Figure II.11- illustre cette abstraction à trois niveaux qui correspondent à la récolte des données, leur convoyage par des mules et leur centralisation au niveau des points d'accès:

• une couche composée de points d'accès chargés de récupérer les données portées par les éléments mobiles et les transmettre à la plateforme de traitement de données. Le positionnement des points d'accès peut être fait selon les besoins en connectivité et en économie d'énergie.

• une couche représentant les éléments mobiles dont la mobilité peut être contrôlée, prévisible ou non. Ils assurent la connectivité du réseau et lui offre souplesse et évolutivité à moindre coût.

• une couche contenant les nœuds capteurs fixes destinés à mesurer les valeurs physiques des phénomènes à observer.

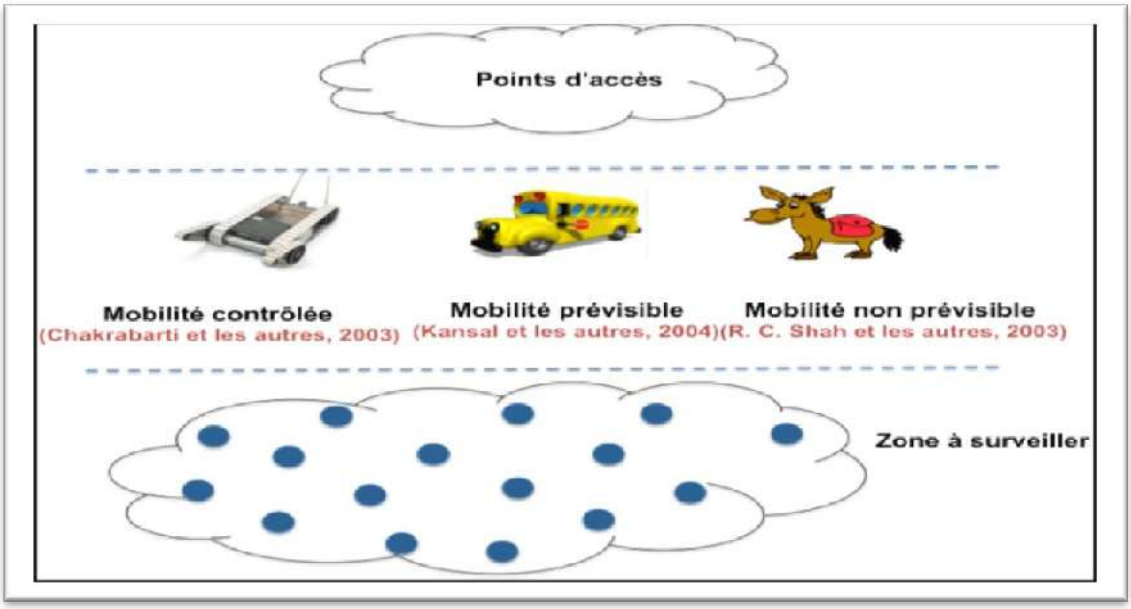


Figure II.11. *Schéma d'architecture à puits mobile et nœuds capteurs fixes.*

Cette architecture présente l'avantage de relaxer la contrainte de forte densité pour assurer une connectivité suffisante du réseau de capteurs sans fil déployé sur une large zone de captage. Ainsi, une architecture clairsemée de réseau de capteurs sans fil devient une option faisable permettant, ainsi, d'éviter les problèmes de collision et de pertes de messages induits par l'utilisation d'un réseau dense.

Les éléments mobiles, lors de leur visite des nœuds capteurs fixes du réseau, peuvent établir des connexions à un nombre de sauts réduit voire même à un simple-saut ce qui permettra de réduire les collisions et la perte de messages.

Un autre avantage apporté par l'utilisation des éléments mobiles dans le réseau réside dans le fait d'éliminer l'épuisement prématuré d'énergie des nœuds proches du puits. Les éléments mobiles peuvent aider à résoudre ce problème en allant collecter dans différentes zones du réseau, tout en assurant un équilibrage de charge énergétique plus au moins uniforme, même dans le cas d'une architecture dense du réseau. (Gandham et al., 2003) (Wang et al., 2007).

Type d'architecture	Avantages	Inconvénients
A puits statique et nœuds capteurs statiques (Werner-Allen et al., 2006) (Padhy et al., 2005) (Mainwaring et al., 2002)	Facile à mettre en œuvre Protocoles de routage simples	Pas d'équilibrage de charges (Problèmes de nœuds goulots d'étranglement en voisinage du puits) Perte d'énergie à la retransmission des données.
A puits statiques et nœuds capteurs mobiles (Handcock et al., 2009) (Huang et al., 2005)	Communication à 1-saut Pas de problème de connectivité du réseau. Pas de perte d'énergie du à la retransmission des données.	Risque d'isolement du puits, Les nœuds mobiles doivent convergés vers le puits pour faire le transfert des données. Difficulté d'optimisation de déploiement des puits.
A puits mobiles et nœuds capteurs statiques (Shah et al., 2003) (Jea et al., 2005) (Chakrabarti et al., 2003)	Equilibrage de charge Résout le problème de connectivité du réseau. Transfert de données à 1-saut Pas de perte d'énergie du à la retransmission des données.	Problème liés à la gestion de mobilité (aléatoire, contrôlée, prédictible) Temps de visite, durée de contact. Problème de synchronisation entre plusieurs puits mobiles
A puits mobiles et nœuds capteurs mobiles (Juang et al., 2002).	Déploiement aléatoire Gain en consommation l'équilibrage de charge énergétique Optimisation du routage diminution du délai de bout en bout Résolution des problèmes de connectivité du réseau.	Problème liés à la gestion de mobilité (aléatoire, contrôlée, prédictible) du puits mobile et des nœuds capteurs mobiles Temps de visite, durée de contact. Problème de synchronisation entre plusieurs puits mobiles

Tableau II.1.*Tableau comparatif des différentes architectures utilisées.*

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 a regrouper les nœuds dans des clusters avec un seul représentant qui permet l'agrégations 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.

Dans le chapitre suivant on adopte le protocole LEACH, on considère la mobilité d'un réseau de capteur et par simulation on montre l'évolution de ces propositions sur les performances du réseau et sur le protocole adopté lui-même.

Chapitre III

Evaluation d’une nouvelle technique de routage des données dans les WSNs

III.1. Introduction

Le routage est une méthode d'acheminement des informations vers une destination donnée dans un réseau de connexion. L'objectif principal de routage hiérarchique est de maintenir efficacement la consommation d'énergie des nœuds des capteurs. Concernant ce dernier, le passage à l'échelle est l'un des principaux attributs de conception de réseaux de capteurs ainsi que l'augmentation de la durée de vie.

Plusieurs travaux de recherche dans ce domaine ont été effectués, Chacune d'elle présente une technique différente tout dons le même but ,c'est la minimisation de la consommation de l'énergie sur l'ensemble du réseau.

Les nœuds sont fixe, adoptant le protocole LEACH 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.

Des résultats des simulations du protocole LEACH avec station de base mobile (mobilisée selon le Barycentre des clusters) vont être présentés et comparés avec le protocole de routage Leach dont la station base est au centre du champ de captage et avec le protocole Leach avec une station de base qui mobilise aléatoirement.

Les simulations effectuées permettent une évaluation des performances de la solution proposé et de consolider nos affirmations.

III.2. La Simulation dans les réseaux de capteurs sans fil

III.2.1. Besoins et limitation

A cause du coût élevé et de la complexité liée au déploiement et à la maintenance d'un réseau de capteurs par exemple pour le teste des différents solutions d'implémentation sur des plateformes réelles et sur des réseaux de centaines et milliers de nœuds n'est souvent pas possible pour des raisons de temps, de coût, de logistique, etc. Ceci explique pourquoi de plus en plus d'intérêt est accordé aux outils de simulations pour les WSN.

D'une manière générale, pour tester le bon fonctionnement d'un processus et évaluer ses performances, on utilise trois méthodes d'évaluation : la méthode analytique, la méthode

par simulation et la méthode par mesure sur un système réel existant. Ces trois méthodes diffèrent par le coût, la durée et l'exactitude des résultats [19].

En ce qui concerne la méthode de simulation, il s'agit d'implanter un modèle du système à l'aide d'un programme de simulation adéquat. C'est une technique largement utilisée pour l'évaluation des performances. Elle présente l'avantage par rapport aux méthodes analytiques de traduire d'une manière plus réaliste le comportement du système à évaluer. On recourt généralement à la simulation pour évaluer un nouveau système ou bien pour des raisons de coûts d'évaluation par des mesures réelles. En plus, la simulation permet de visualiser les résultats sous forme de graphes faciles à analyser et à interpréter. Et c'est pour ces raisons que nous avons décidé d'utiliser la simulation pour tester le bon fonctionnement et évaluer les performances de notre algorithme de clustering avec station de base mobile et reste à choisir quel simulateur utiliser?

III.2.2. Le langage MATLAB

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

III.3. Les cas de la simulation

Les simulations ont été réalisées avec une station de base mobile, sa mobilité est assuré par le suivi des barycentres des clusters Head , après initialisation du réseau et la formation des groupes et des chefs de groupe, la station de base localise les cluster Head ,calcul le barycentre de ces derniers à chaque rond et se déplace finalement au point considérer comme le centre de gravité des CHs , pourquoi le barycentre des CHs ? C'est juste parce que les capteurs CHs ont une relation directe avec la station de base et par cette

technique on assure la proximité de la station de base avec les CHs. Cette technique a été appliquée en adoptant les protocoles de routages hiérarchiques de données afin de voir l'impact de la mobilité sur la stabilité et la consommation d'énergie du réseau complet. Cette mobilité peut être imposée par la nature de l'application déployée, ou pour améliorer les performances du réseau en termes de connectivité, densité, durée de vie du réseau, etc.

Les résultats de simulation de cette technique seront comparés avec celles trouvés antérieurement qui considèrent une station de base statique et mobile aléatoire.

On remarque que cette technique aura une grande importance avec le protocole SEP qui donne une probabilité importante aux nœuds avancés d'êtres des CHS, et par la suite ces CHs envoient à chaque ronds les données récoltées du réseau vers la station de base qui sera à proximité de ces derniers, donc moins d'énergie de transmission et en plus ont une énergie initiale double ou triple par rapport aux nœuds normaux, ce qui augmentent plus la stabilité et la durée de vie du réseau et diminuent la consommation d'énergie totale de ce dernier.

Suite à ces constations on a décidé de faire une simulation de cette technique avec le protocole SEP et voir qu'est-ce qu'elle apporte à ce dernier comme performances

III.3.1. La modélisation du réseau

L'évaluation du protocole 'LEACH avec station de base mobile' est réalisée sur un réseau de capteurs sans fil de 100 nœuds fixe déployés sur une zone carré de surface (100*100) m^2.

Ce réseau est considéré:

- ✓ Homogène: Tous les nœuds du réseau sont semblable, en ce qui concerne, les caractéristiques techniques et l'énergie initiale (E0).

- ✓ Non uniforme: Les nœuds du réseau sont déployés d'une manière aléatoire sur la zone de captage.

- ✓ Statique: Les nœuds sont immobiles durant toutes les simulations. Et avec les hypothèses suivantes:

- Le rayon de transmission est supposé fixe et semblable pour tous les nœuds du réseau;
- La consommation de l'énergie lors de l'envoi et la réception d'un message est la même;
- La distance, séparant deux nœuds, peut être calculée selon la force du signal reçu;
- Les nœuds du réseau ne disposent d'aucun dispositif de géolocalisation;

- Tous les nœuds sont considérés comme sources de données avec un prélèvement et une dissémination périodique.

✓ Mobilité : La station de base est mobile sur une trajectoire conditionnée durant toute la durée de simulation et pour tous les protocoles.

✓ Hétérogénéité: un réseau hétérogène est constitué par deux types de nœuds à des caractéristiques techniques semblables [16].

- 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 initial:

- L'énergie initiale d'un nœud normal est égale à E_0.
- L'énergie initiale d'un nœud avancé est égale à E_0 (1+a).

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

III.3.2. Les Paramètres de simulation

Nous avons adopté les Paramètres utilisé pour le protocole LEACH. Le tableau suivant résume l'ensemble des paramètres utilisés pour les simulations:

Les Paramètres	Les Valeurs
Le nombre des nœuds Total (N)	100
Surface (L*L, L= longueur du réseau)	100x100 m^2
Le nombre de sauts (K)	1
L'énergie initiale pour un nœud	0.5 J
La position de la station de base	mobile
La taille des messages de données	4000 bit
L'énergie consommée pour la transmission « ETX »	50 nJ/bit
L'énergie consommée pour la réception « ERX »	50 nJ/bit

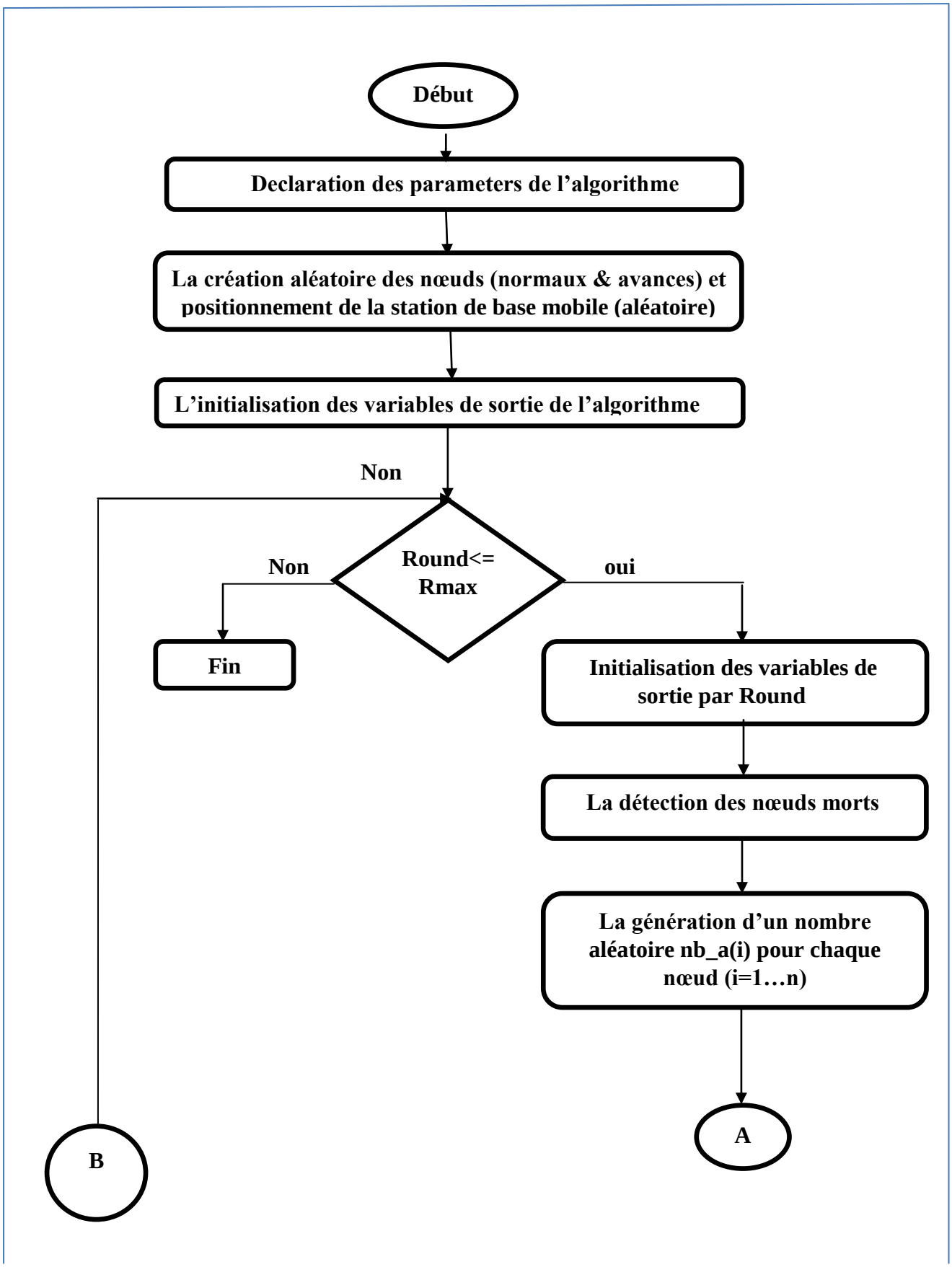
le facteur d'amplification du signal (Efs) pour « d<=d0 »	0.0013 pJ/bit
le facteur d'amplification du signal(Emp) pour « d>d0 »	10 pJ/bit
distance seuil (d_0)	88 m
L'énergie d'agréation (EDA)	5 nJ
l'énergie totale de system(E)(pour Leach)	50 J
l'énergie totale de system(E) (pour SEP)	65J
Le nombre des rounds 'tours' (r max)	1500 rounds
Valeur pour Les nœuds avancés (dans le SEP) (m,a)	m=30%, a=1
La probabilité d'être CH (P)	10%

Tableau III.1: Les paramètres des simulations.

III.4. Les Variables de sortie de l'algorithme

- La période de stabilité du réseau.
- Nombre de messages reçu par la station de base par tour.
- L'énergie consommé par tour.

III.5. L'organigramme De Protocole LEACH standard



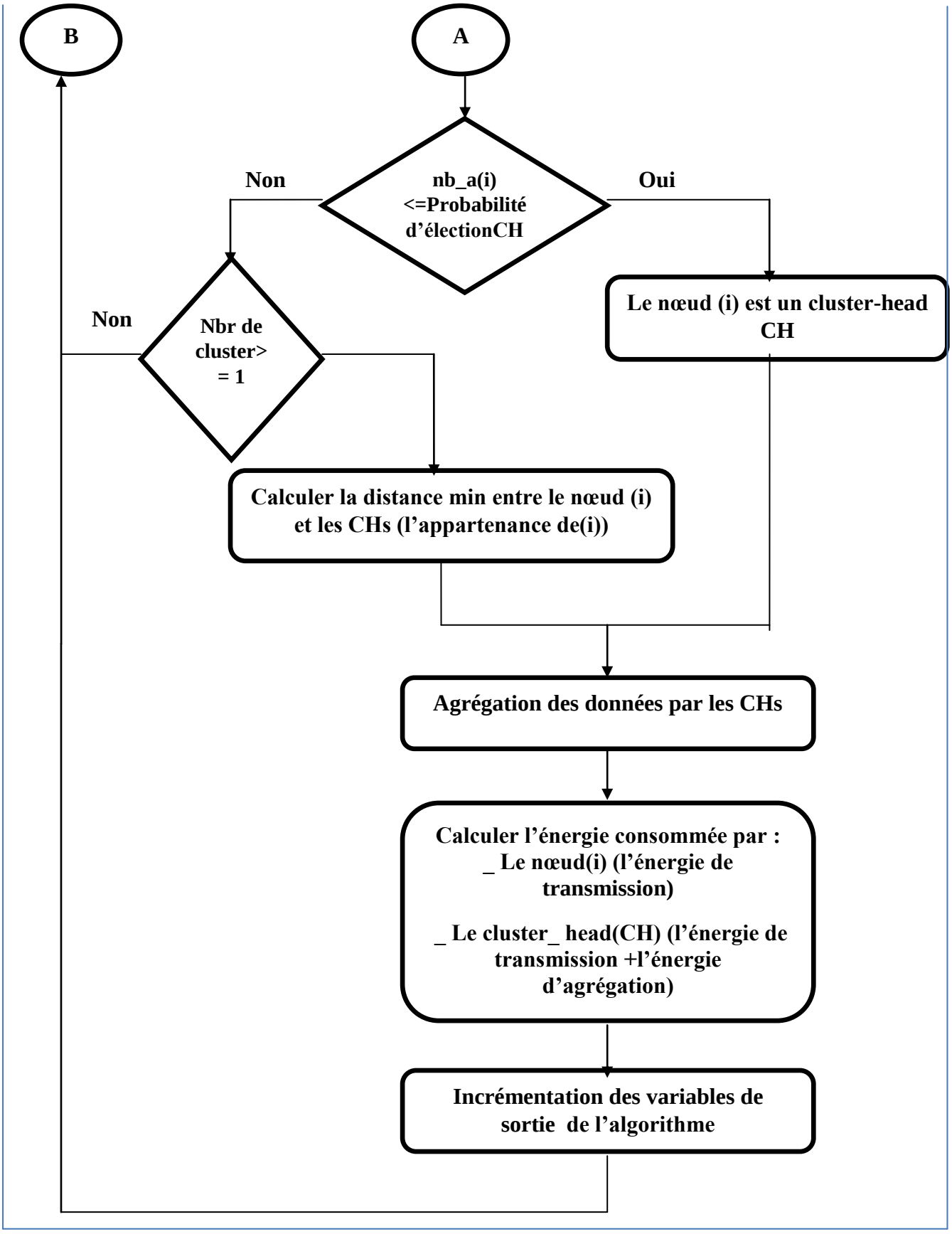


Figure III.1 : *Organigramme du protocole Leach standard*

III.6. Métriques d'évaluation

L'objectif des simulations faites est d'évaluer et analyser le protocole proposé selon trois métriques : la stabilité du réseau, la consommation d'énergie totale par rond ou bien les coûts des communications ainsi que le nombre des paquets de données envoyés par les chefs de groupe à la station de base mobile.

- ✓ Stabilité du réseau : C'est la durée jusqu'à la mort du premier nœud du réseau.
- ✓ Cout des communications : C'est l'énergie totale consommée par tous les capteurs.
- ✓ Paquets to station de base mobile: (quantité d'information) :C'est la quantité de données (messages) reçus par la station de base.

III.7. Explication de notre technique (Les calculs se fait pour chaque tour)

III.7.1 : la méthode de calcul du barycentre d'un ensemble des points

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

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

Avec : $M = m_1 + m_2 + \ldots + m_n$ Masse totale du système.

Le barycentre G d'un system matériel continu se définit par :

$$\mathbf{XG}=\frac{1}{M} * \sum_{i=1}^{u} x(i) * m(i) \quad \textbf{III.2}$$

$$\mathbf{YG}=\frac{1}{M} * \sum_{i=1}^{u} y(i) * m(i) \quad \textbf{III.3}$$

Apres une projection sur notre besoin on est arrivé à :

M : c'est l'énergie dans des CHs

m : c'est l'énergie du capteur

O : c'est le point (0,0)

$x(i)$: L'abscisse du Cluster Head (i) ,

$y(i)$: L'ordonnée du Cluster Head (i) ,

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.

III.7.2 Localisation

Apres que la station de base collecte toutes les informations concernant tous les nœuds, et après l'élection des CH , les CHs envoient des messages des notifications à la SB et aux autres nœuds qu'ils sont des CHs.

La SB s'intéresse que par l'énergie et les coordonnées des CHs concernant notre nouvelle technique.

III.7.3. Notre contribution et algorithme de programmation sous MATLAB

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

- les abscisses des CHs et on les mettre dans un vecteur (x).
- leurs ordonnées 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 fait, en calculant la somme des résultats avec celle qui précède qu'on l'a nome som1.

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

$$\text{k} = \text{ la taille de (x)et (e)}$$

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

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

$$\text{k} = \text{ la taille de (y)et (e)}$$

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

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

Finalement on fait la division :

$$\text{Som1/som3} = \text{sink. X} = \text{Xg} \quad \text{(III.7)}$$

$$\text{Som2/som3} = \text{sink.Y} = \text{Yg} \quad \text{(III.8)}$$

III.7.4. L'organigramme de la nouvelle technique

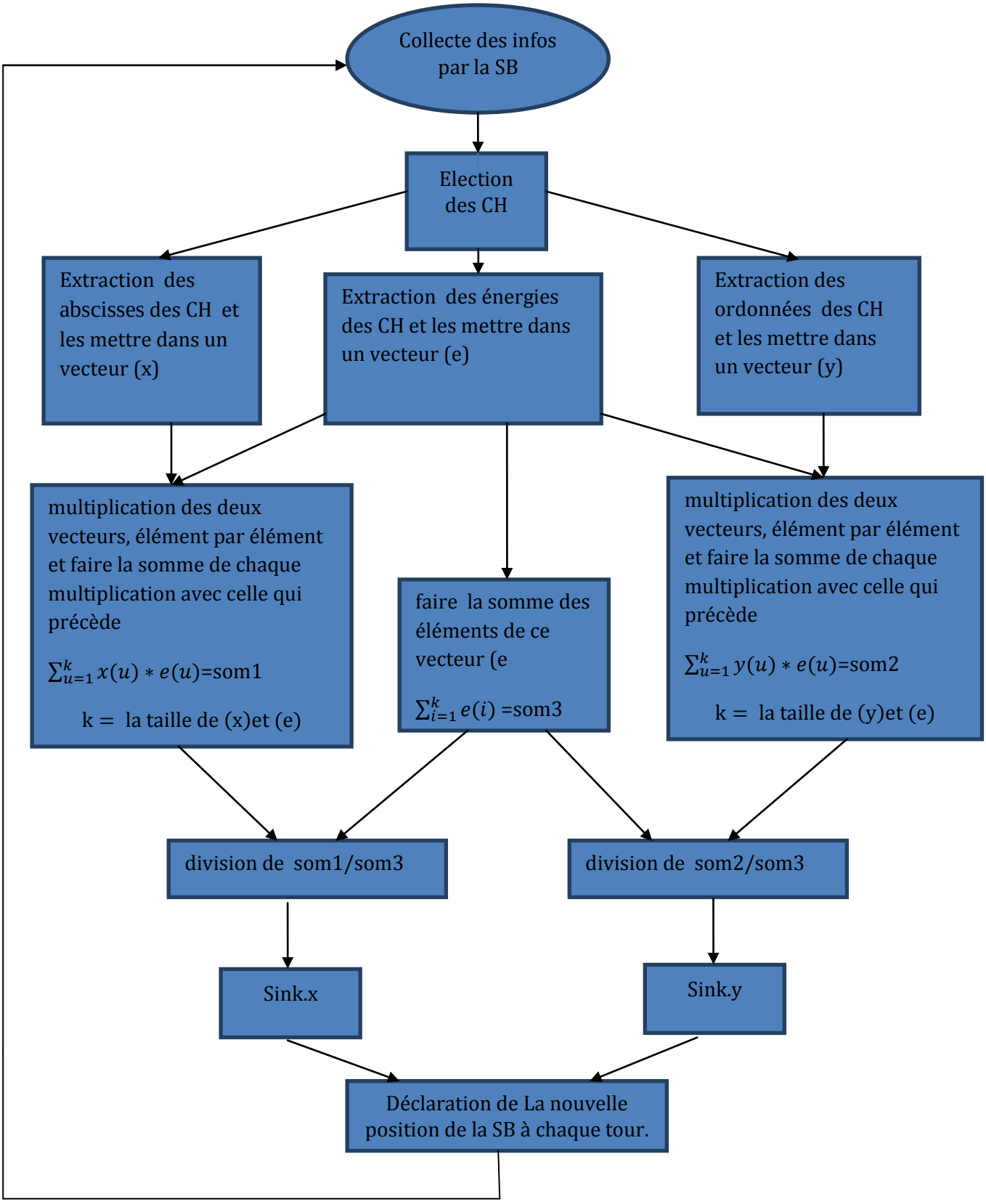


Figure III.2 : *organigramme de nouvelle technique*

III.8. Analyse des résultats des simulations

Le but de ces simulations est de voir l'influence de la mobilité de la station de base sur les performances des différents protocoles de routage qui ont été déjà adopté par des réseaux de capteurs à station de base fixe.

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 une station de base fixe située une fois à l'extérieur du champ (principe du LEACH) et une autre fois au centre du champ de captage (LEACH modifie) et il sera aussi comparée avec la technique qui considère que la station de base est mobile d'une façon aléatoire.

Les simulations ont été réalisées pour un réseau dans le Cas du LAECH et le cas du SEP.

III.8.1. Résultats de simulation pour un réseau homogène

III.8.1. 1. Cas 1

On adopte le protocole LEACH et on simule une station de base mobile qui prend le barycentre des clusters Head pour chaque round.

La figure III.3 montre l'environnement de la simulation.

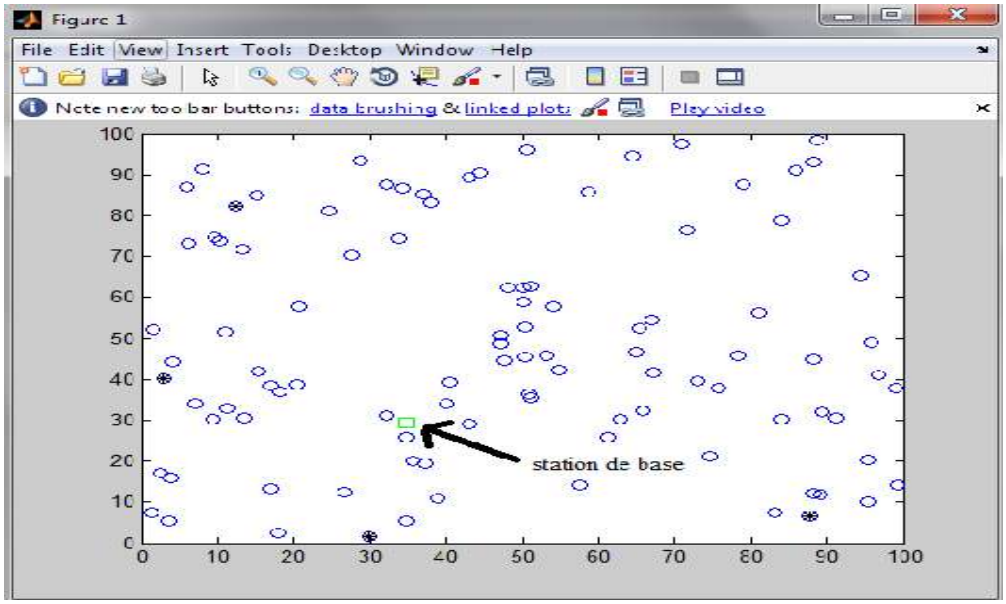
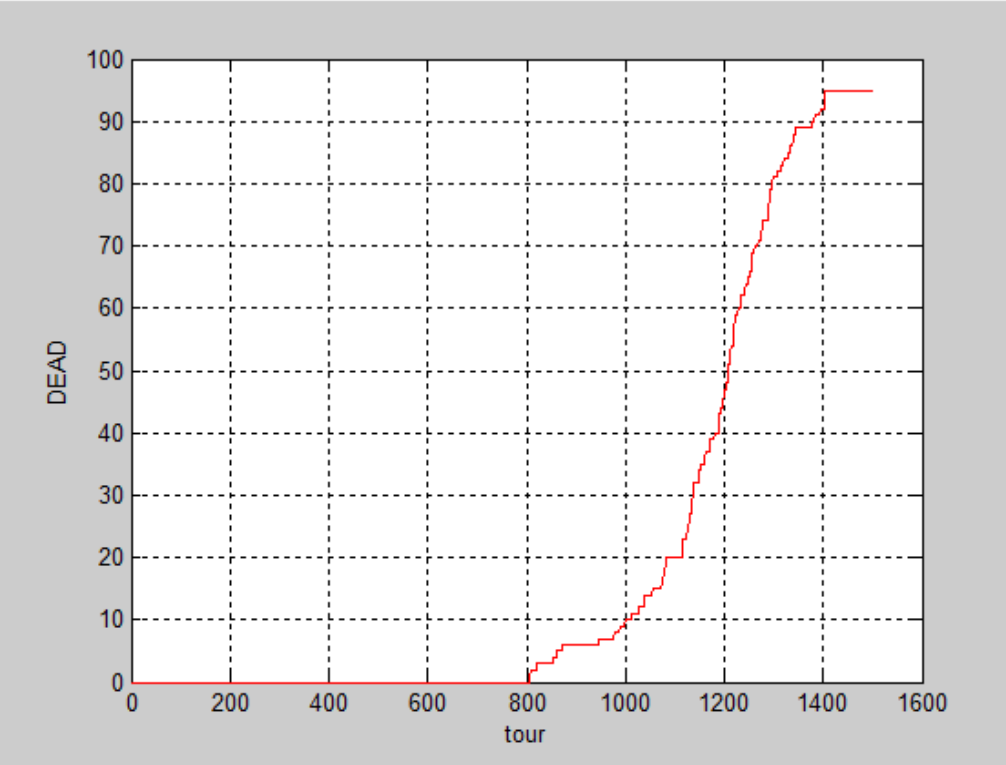


Figure III. 3 : *La mobilité de la station de base selon le barycentre des clusters Head*



FigureIII.4.*La stabilité du réseau*

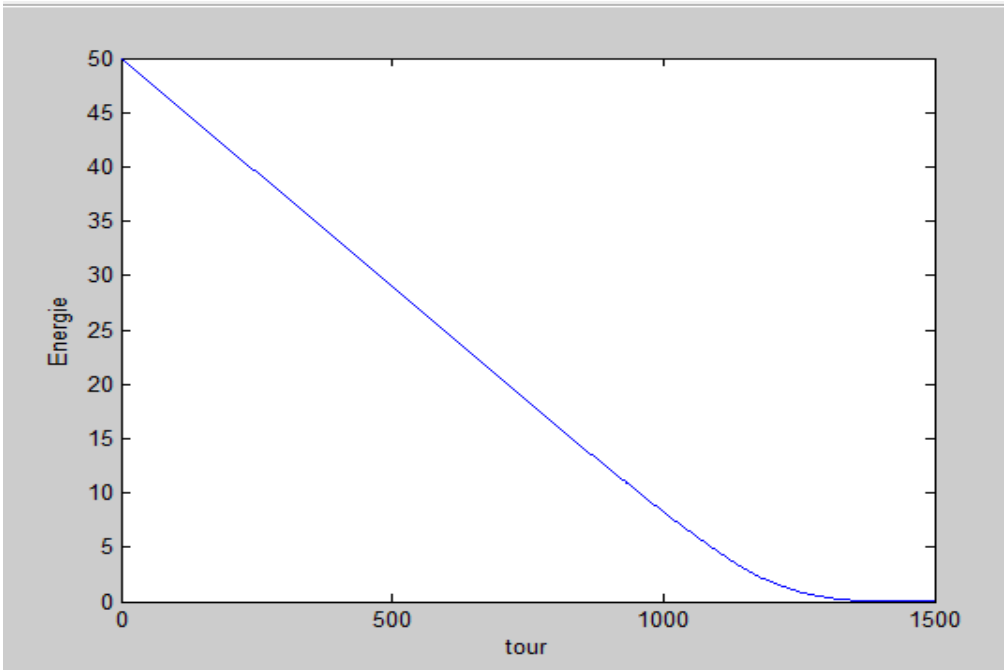


Figure III.5.*l'énergie résiduelle par round*

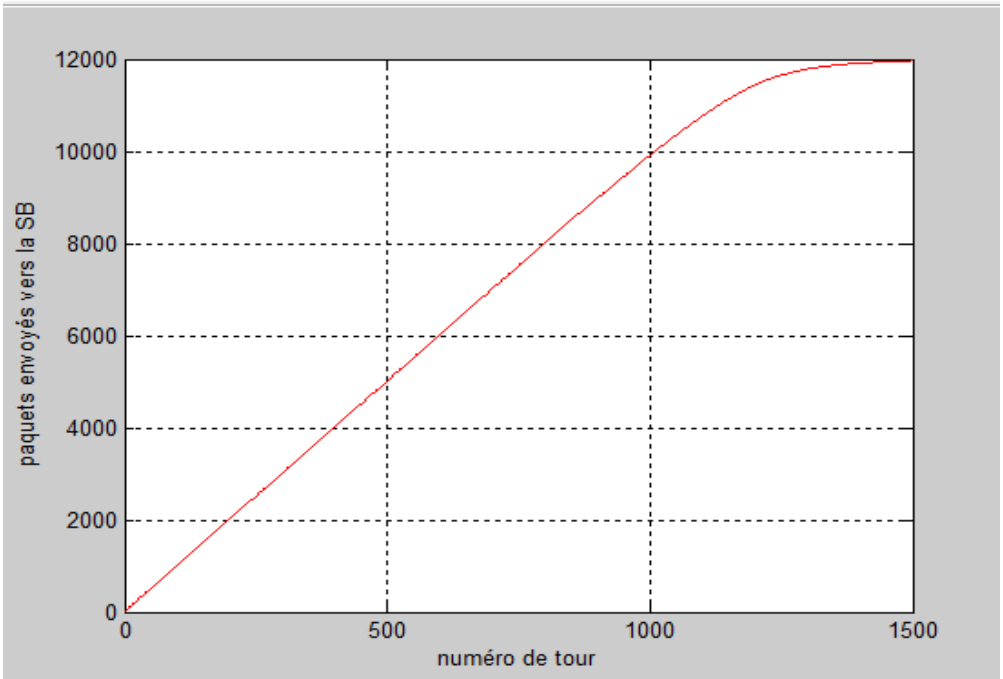


Figure III.6. *Nombre de paquets envoyés vers la SB par tour*

III.8.1.2. cas 2

Comparons le Leach avec : SB au centre, SB à l'extérieur, SB qui bouge aléatoirement et SB qui prend le barycentre des CH

- Energie

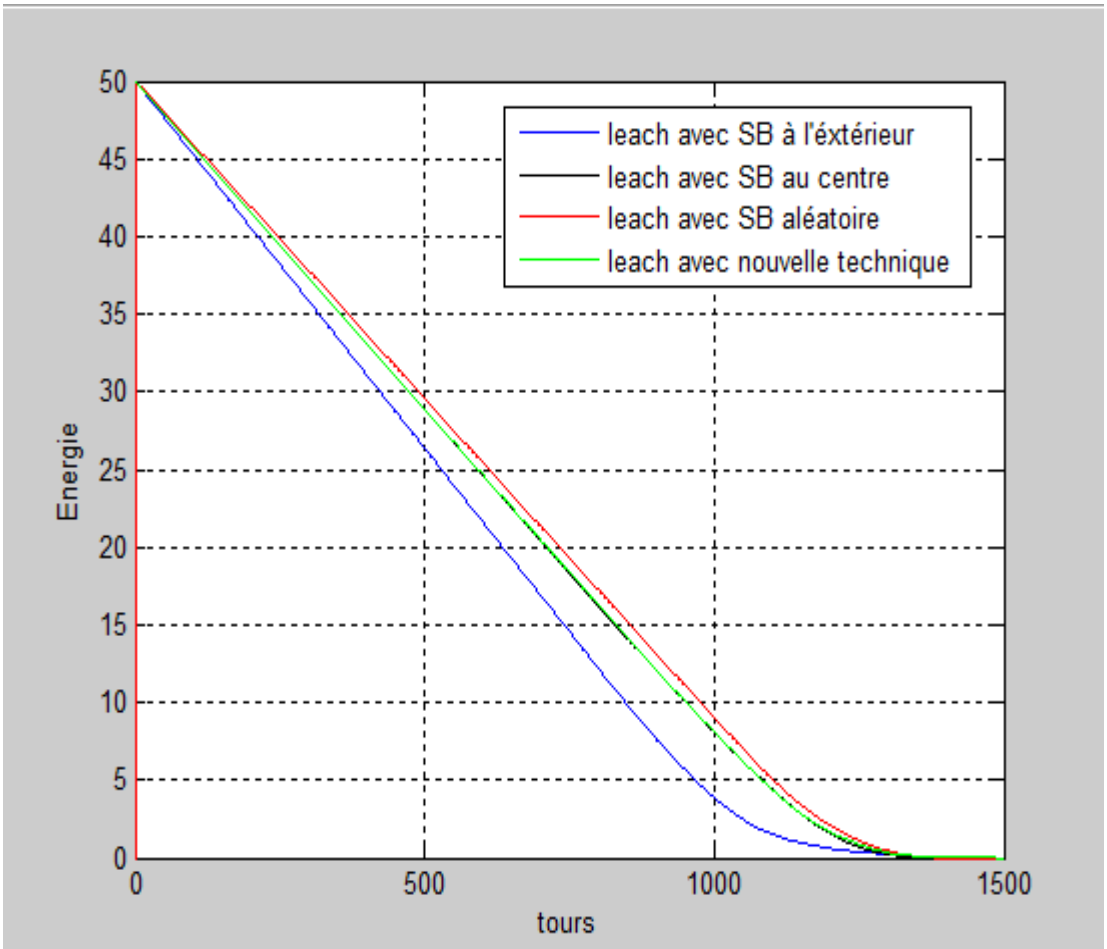


Figure III.7. *L'énergie résiduelle dans le réseau dans les 4 protocoles*

La figure III.7 montre que notre technique augmente l'énergie résiduelle un peu par apport au protocole LEACH non modifié, le même résultat avec LEACH modifié et moins que celle du LEACH avec station de base qui se déplace aléatoirement.

- Les Paquets envoyés vers la SB

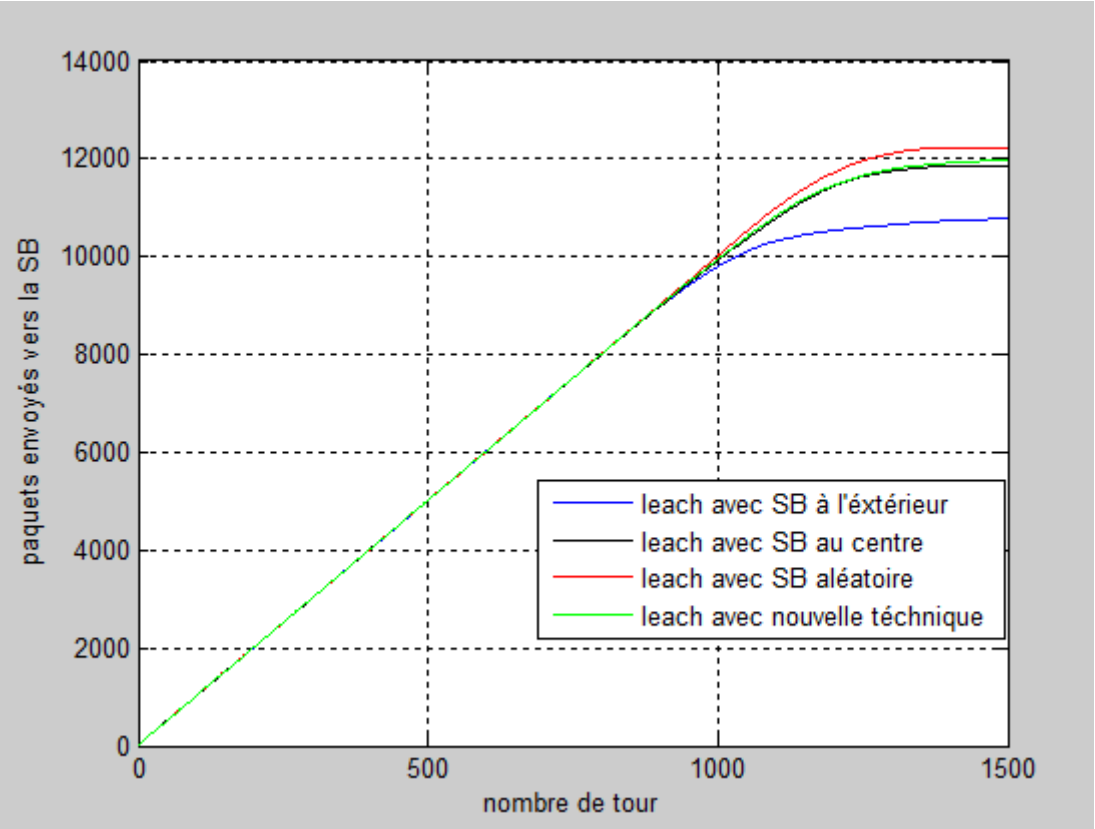


Figure III. 8. *nombre des paquets envoyé à la station de base dans les 4 protocoles.*

La figure III.8 montre le même nombre des paquets envoyé à la station de base durant les 1000 premiers tours, après le 1000 éme tour notre technique présente une légère amélioration par rapport au Leach avec SB au centre et grande amélioration par rapport à celle à l'extérieure

- Stabilité de la période de stabilité

Dans cette simulation on va évaluer l'inchangeable du réseau comme elle est définie (premier nœud mort) pour les quatre techniques. Pour ce faire on réalise pour chaque technique un nombre important de simulation avec les mêmes paramètres et voir quelle technique qui nous donne un même point de stabilité.

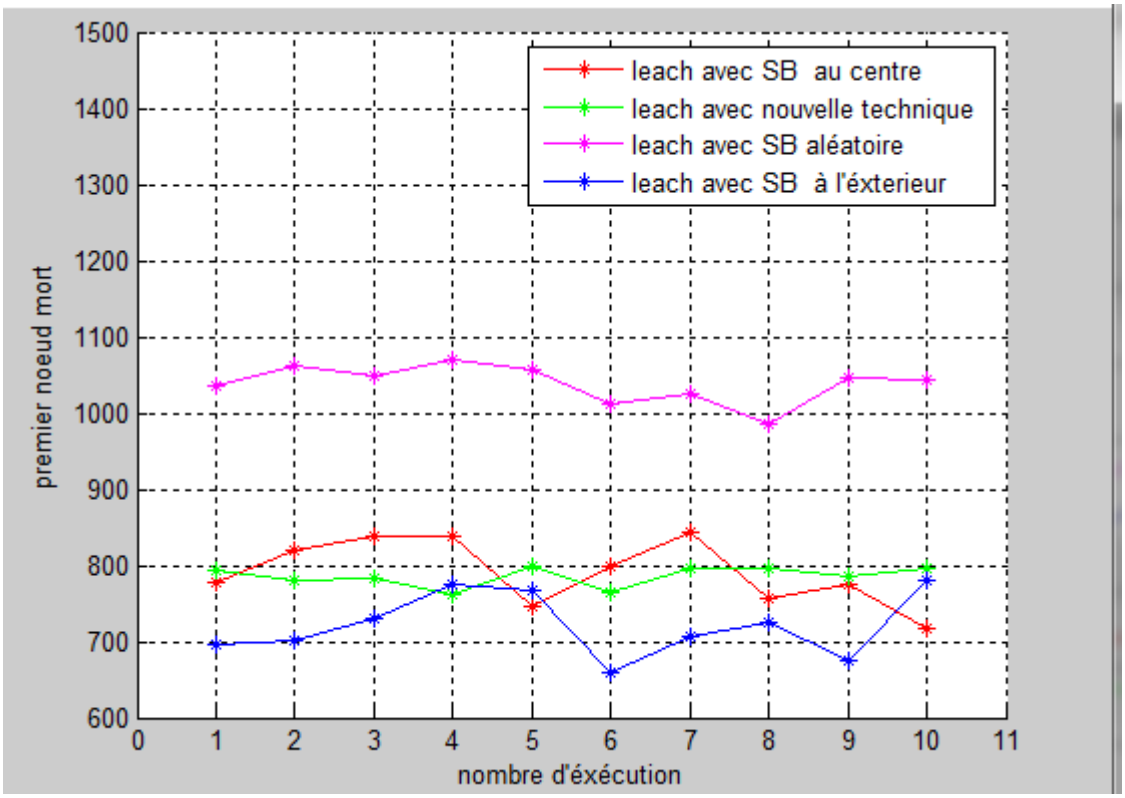


Figure III.9.*stabilité de réseau dans les 4 protocoles*

La figure III. 9 montre que les trois techniques antérieures donne une stabilité plus grande que celle de la nouvelle technique, mais ce point critique semble instable d'une simulation à une autre pour les mêmes conditions et mêmes paramètres, par contre celle de notre nouvelle technique donne un point de stabilité presque le même (stable).

Notre contribution semble qu'elle marche bien avec le protocole SEP qui donne une probabilité importante aux nœuds de capteurs avancés en énergie d'êtres des Clusters Head qui ont une relation directe avec la station de base qui sera toujours à portée radio de ces derniers grâce à la nouvelle technique adopté.

III.8.2. Résultats de simulation pour le réseau en adoptant le protocole SEP

III.8.2.1cas 1

On applique la nouvelle technique à un réseau de capteur adoptant le protocole SEP et on va la comparé avec le SEP non modifié.

Le sep (Stable Election Protocol) : est un protocole pour l'objectif 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 d'élection 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 sera $Eo \cdot (1 + \alpha)$. L'énergie totale du nouveau réseau hétérogène est égale à:

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

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

- Stabilité

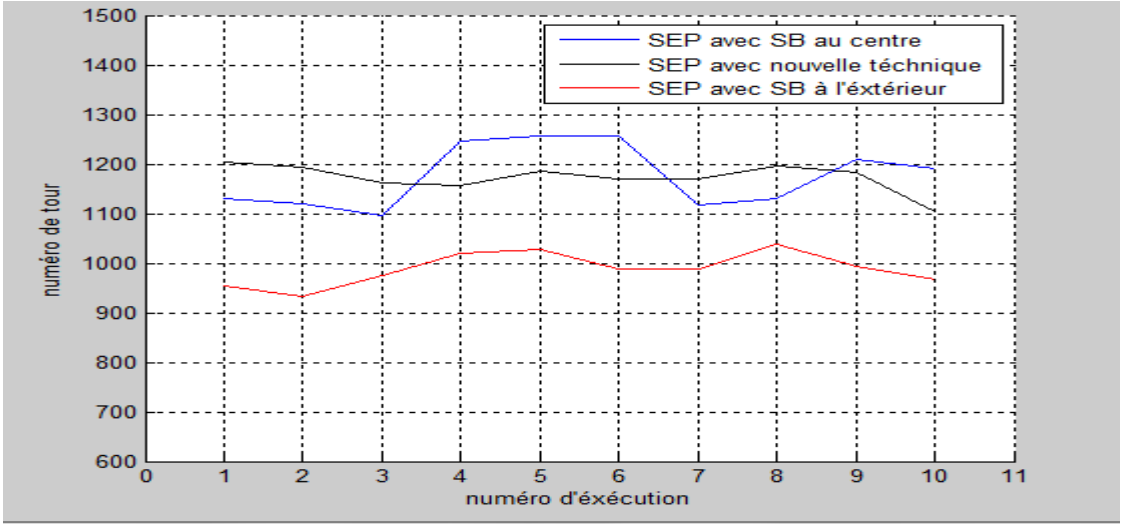


Figure III.10. *Stabilité de réseau entre sep et sep modifié*

La figure III.10 montre clairement que notre nouvelle technique apporte une meilleure stabilité au réseau de capteurs comparé avec SEP à station de base à l'extérieur du champ de captage et donne aussi un point de stabilité stable comparé avec SEP à station de base au milieu du champ de captage.

- Energie

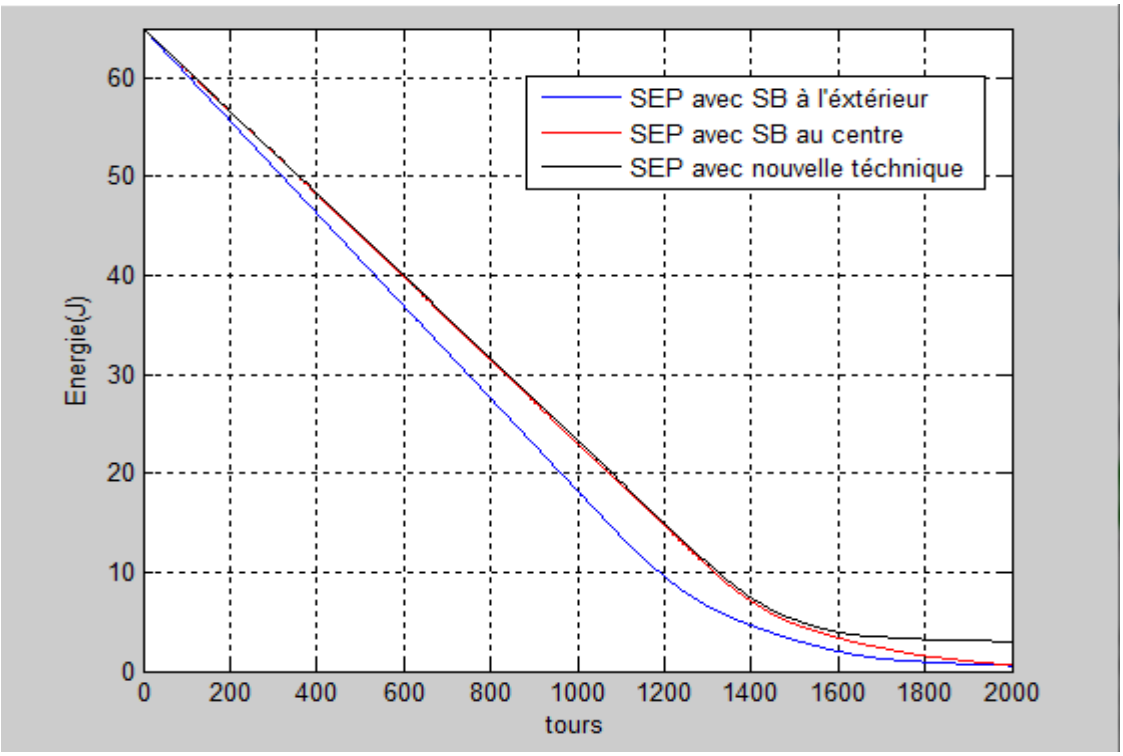


Figure III.11 .*l'énergie résiduelle dans les 3protocoles*

Notant que le protocole SEP adoptant la nouvelle technique consomme moins d'énergie par rapport au sep non modifié. La figure 12 montre que l'énergie résiduelle du réseau est très importante avec la nouvelle technique surtout aux derniers tours

- Paquets envoyés à la SB

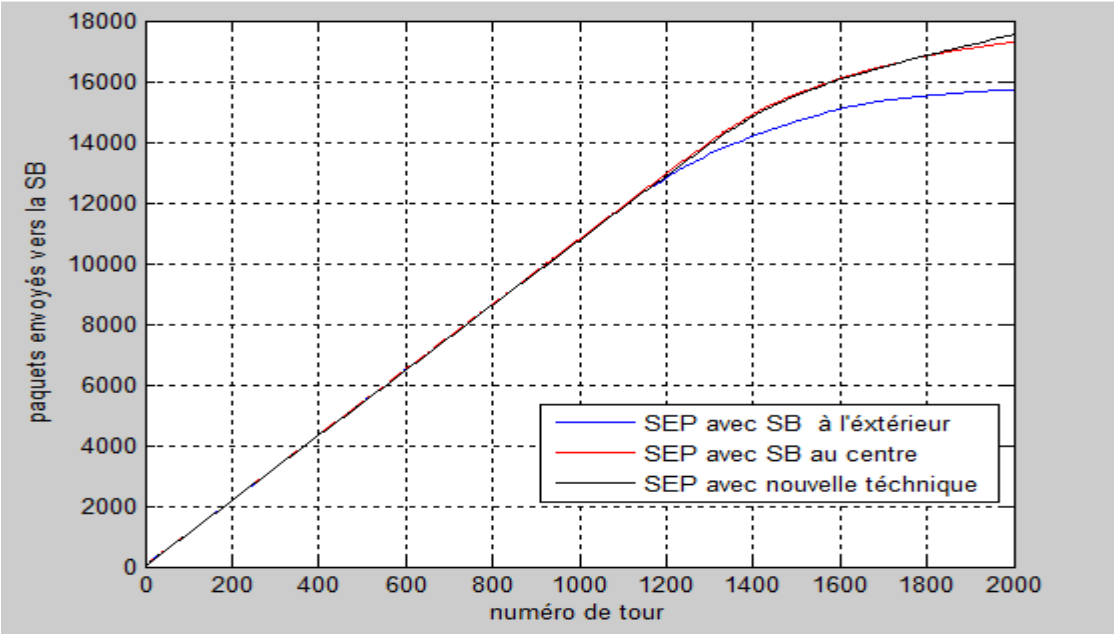


Figure III.12. *Nombre des paquets envoyé à la SB.*

Le nombre de paquets envoyés à la station de base est légèrement amélioré avec la nouvelle technique par rapport aux autres.

III.9. Conclusion

Dans ce chapitre on a réalisé des simulations à l'aide du programme MATLAB dans le but d'évaluer une nouvelle technique proposé et la comparé avec des travaux antérieurs.
Les résultats des simulations ont montré qu'il y'a toujours des paramètres qui seront améliorés et d'autres restent à les chercher d'autre des solutions plus avancés.

Notre contribution montre qu'elle a apporté des performances vis-à-vis la stabilité de la période du réseau et elle est plus adaptée avec le protocole de référence LEACH et avec le protocole SEP.

Conclusion générale

Bien que les protocoles de routage de données dans les réseaux de capteurs sans fil augmentent les performances du réseau, le routage hiérarchique basé sur le clustering est le protocole de référence qui est utilisé par les chercheurs pour réduire la consommation d'énergie et augmenté la durée de vie, ce dernier est utilisé on considère la mobilité dans un réseau de capteur augmente la durée de vie et performe le protocole utilisé.

En conclusion, une fois l'architecture choisie où la station de base doit visiter les chefs de clusters, nous devons diminuer le nombre de points de collecte que l'élément mobile doit visiter. Car, faire un balayage de tous les nœuds capteurs par l'élément mobile pour récupérer les informations mesurées au niveau de chaque nœud capteur est une tâche très onéreuse en temps de collecte..

Notre contribution était d'adopter le protocole LEACH et SEP et appliquer une nouvelle technique de collecte de données qui se base sur la mobilité conditionnée de la station de base comme il est montré en chapitre 3.

Les résultats obtenus montrent que notre nouvelle technique améliore la stabilité du période de stabilité et ceci c'est une métrique ou une information très importante pour les utilisateurs des réseaux de capteurs sans fils car elle donne une prévision plus proche et plus exacte sur la période de stabilité du réseau par rapport aux autres techniques.

On peut dire qu'en plus des performances apportées par notre nouvelle technique, elle apporte une information très importante sur la durée de vie du réseau afin que l'utilisateur de ce dernier aura une information proche de ça prévision.

Bibliographie

[1] :Bouabdellah Kechar, « Problématique de la consommation de l'énergie dans les

réseaux de capteurs sans fil », Séminaire LIUPPA, Université de Pau et des Pays de

l'Adour, 14 Octobre 2007.

[2]: Holger Karl and Andreas Willig, "Protocols and Architectures for Wireless Sensor Networks", John Wiley & Sons 2005.

[3] :Ian F Akyildiz, Weilian Su, Yogesh Sankarasubramaniam, and Erdal Cayirci. A survey on sensor networks. Communications magazine, IEEE 40(8), 102–114 (2002).

[4] :Roozbeh Jafari, Andre Encarnacao, Azad Zahoory, Foad Dabiri, Hyduke Noshadi, and Majid Sarrafzadeh. Wireless sensor networks for health monitoring. In The Second Annual International Conference on Mobile and Ubiquitous Systems : Networking and Services, MobiQuitous 2005., pages 479–481. IEEE (2005).

[5] :Dirk Trossen and Dana Pavel. Sensor networks, wearable computing, and healthcare applications. Pervasive Computing, IEEE 6(2), 58–61 (2007).

[6] : Disponibilité et fiabilité des services et des systèmes Anthony Busson pdf

[7]: Leboukh Aboubakre. Saidi Madani Amine. «La Localisation dans les Réseaux de Capteurs Sans Fil : Cas d'un Milieu Fermé». Mémoire de Master en Génie électrique et informatique. Université Dr. Yahia Fares de Médéa. juin 2013

[8]: Wendi Rabiner Heinzelman, Anantha Chandrakasan, and Hari Balakrishnan. Energy-efficient communication protocol for wireless microsensor networks. In Proceedings of the 33rd Annual Hawaii International Conference on System Sciences.

[09] :Luis Javier Garcيa VILLALBA, Ana Lucila Sandoval OROZCO, Alicia Triviٞo CABRERA, Clلudia Jacy Barenco ABBAS, «Routing Protocols in Wireless Sensor Networks», Sensors 2009, 9, 8399-8421, ISSN 1424-8220, 2009.

[10] : Ian F. AKYILDIZ, Mehmet Can VURAN, « Wireless Sensor N etworks», John Wiley & Sons Ltd, 2010

[11] : W.R. Heinzelman, A. Chandrakasan, H. Balakrishnan "Energy-efficient communication protocol for wireless micro sensor networks", IEEEHawaii International Conference on System Sciences, 2000.

[12] : 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, 2010.

[13] :Boubiche Djallel Eddine «Protocole de routage pour les réseaux de Capteurs Sans fil» mémoire de Magistère en Informatique. Université de l'Hadj Lakhdar-Batna Faculté des sciences de l'ingénieur. 2008.

[14] :Beydoun Kamel «Conception d'un protocole de routage hiérarchique pour les réseaux de capteurs. » Thèse pour l'obtention d'un grade de
Docteur de l'université de Franche-Comté en informatique. Décembre 2009.

[15]:Hania AOUDIA, Youcef TOUATI, Arab ALI-CHERIF et Patrich GREUSSAY, « Approche de routage hiérarchique basée sur un mécanisme de clustering dans les réseaux de capteurs sans fil », Manuscrit auteur, publié dans 9ème édition de la conférence MajecSTIC, université de Lille, 2012.

[16]: Smaragdakis, G., Matta, I., & Bestavros, A, « SEP: A stable election protocol for clustered heterogeneous wireless sensor networks ». Boston University Computer Science Department, 2004.

[17] : Omar MOUSSAOUI, « Routage hiérarchique basé sur le clustering » Thèse de Doctorat, université de Cergy-Pontoise, 2006.

[18] : Aderohunmu, F. A., & Deng, J. D, « An Enhanced Stable Election Protocol (SEP) for Clustered Heterogeneous WSN », (No. 2009/07), Discussion Paper Series, 2009.

[19] : Said HARCHI, «Un protocole de session dans les réseaux de capteurs sans fils. » Thèse pour obtenir le diplôme de docteur de l'université de lorraine En Automatique, Traitement du Signal et des Images, Génie Informatique. 06 décembre 2013.