REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE YAHIA FARES DE MEDEA



Faculté de **T**echnologie /**D**épartement **G**énie **E**lectrique

Mémoire de fin d'études de Master

Filière : Electronique
Spécialité : Electronique des systèmes embarqués

Amélioration des performances des protocoles d'auto organisation du réseau de capteur sans fil

---

Présenté par :

BEN ADDA SIHAM

BELKHIRI NADIA

Proposé et Dirigé par :

Mr. GUEDMANI Mohamed

Promotion 2019

Remerciment

Nous tenons tout d'abord à remercier ALLAH pour nous avoir guidés vers le bon chemin de la lumière et du savoir et avoir donné du courage, de la volonté afin de pouvoir réaliser ce modeste travail.

Et après nous remercions nos parents pour leurs aides.

Nous tenons à exprimer notre profonde gratitude à notre promoteur **M. Guedmani Mohamed** *pour l'encadrement de ce mémoire, son aide, sa patience et sa confiance qu'elle nous a accordée.*

Nous tenons à remercier : le président et les membres de jury pour avoir accepté de juger notre travail.

Nous voudrait également remercier les professeurs qui nous avons enseignée durant notre parcours universitaire à l'université « YAHYA FARES » Médéa.

Nous voudrait exprimer notre reconnaissance envers les amies et collègues qui nous avons accompagnée durant les 5 ans de l'étude qui ont pu créer une ambiance de travail agréable.

Dédicace :

JE dédie ce travail
à ma chère maman, mon père,
ma sœur SOULEF, mes frères BADRO et NABIL
et à mon cher marie ABD ELRAHMAN
et toute la famille HADRI, KAMLI ,
A mes tentes et mes cousines
pour ses soutient moral et financier
qui m'ont toujours encouragé.

A tous nos chers amis(e) :Ma binôme ***SIHAM****,*
NAWEL, SOUMEYA, RIMA, AMEL, WIDAD, NESRINE, *les trois*
MANEL, NESRINE*, et* ***TAREK, ZINOU****.*

NADIA BELKHIRI

Dédicace :

JE dédie ce travail

À ma chère maman, mon père,

Mes sœurs NERDJES, NIHAD et NOUR mes frères IYAD

Et toute la famille BEN ADDA, Déchicha

A mes tentes et mes cousines

Pour ses soutient moral et financier

Qui m'ont toujours encouragé.

A tous nos chers amis(e) : Ma binôme ***NADIA,***

HANANE ,ZINEB,NAWEL, SOUMEYA, RIMA, AMEL, NESRINE, *les*

trois ***MANEL, NESRINE,*** *et* ***TAREK, ZINOU.***

SIHAM BEN ADDA

Résumé :

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 et le passage à l'échelle.

Plusieurs solutions de routage hiérarchiques ont été proposées à titre d'exemples : L'algorithme LEACH, SEP et ZSEP.

Notre étude est projeté sur un protocole de routage hiérarchique, appelée LEACH Intelligent qui se base sur le couplage des nœuds voisins et proches, transmettant leurs messages en alternance vers la station de base afin de réduire le nombre de paquets de données envoyées pour minimiser la consommation d'énergie et prolonger la durée de vie du réseau.

Mots clé :

Réseaux de capteur sans fils, Routage hiérarchique, Energie, durée de vie.

تلخيص:

(WSNs) من خلاله يتم التعرف على توجيه البيانات في شبكات الاستشعار اللاسلكية. حيث يعتبر مجالًا نشطًا للغاية من الأبحاث نظرًا لخصائص هذا النوع من الشبكات ، حيث يعتبر استهلاك الطاقة و أهمها قابلية التوسع.مثل التحديات الرئيسية لبروتوكولات الاتصال المقترحة.

التوجيه الهرمي للبيانات هو فئة محددة من بروتوكولات التوجيه ، ويشمل الحلول التي تعتمد على إعادة هيكلة الشبكة المادية إلى نظام تسلسل هرمي منطقي ، يهدف إلى تحسين استهلاك الطاقة و التحجيم تم اقتراح عدة حلول توجيه مثل خوارزمية LEACH و SEP و ZSEP .

تم إجراء دراستنا على بروتوكول توجيه هرمي والذي يستند إلى اقتران العقد المجاورة والقريبة ، بنقل رسائلهم بالتناوب إلى المحطة الأساسية لتقليل عدد حزم البيانات المرسلة لتقليل الاستهلاك الطاقة وإطالة عمر الشبكة ويسمى : LEACH Intelligent

كلمات البحث : شبكات الاستشعار اللاسلكية ، التوجيه الهرمي ، الطاقة ، العمر

Abstract:

Data routing in wireless sensor networks (WSNs) is recognized as a very active area of research given the specificities of this type of network, where energy consumption and Scalability are considered the most important. Major challenges of the proposed communication protocols.

Hierarchical routing of data in WSNs is a specific class of Routing protocols; it encompasses solutions that adopt a restructuring of the physical network into a logical hierarchy system, aimed at optimizing energy consumption and scaling up.

Several hierarchical routing solutions have been proposed as examples:

The LEACH algorithm, SEP and ZSEP.

Our study is projected on a hierarchical routing protocol, called Intelligent LEACH, which is based on the coupling of neighbor and near nodes, transmitting their messages alternately to the base station to reduce the number of data packets sent to minimize consumption. Of energy and extend the life of the network.

Keywords:

Wireless Sensor Networks, Hierarchical Routing, Energy, Lifetime.

Remerciements

Dédicaces

Résumé

Table des matières.....I

Liste des figures : IV

Liste des Tableaux: VI

Liste des abréviations :..... VII

INTRODUCTION GENERALE: **1**

Chapitre I : Généralités sur les RCSFs

I.1 Introduction : 4

I.2 Définition des capteurs : 4

I.3 Architecture d'un capteur : 5

I.3.1 L'unité de captage : 5

I.3.2 L'unité de traitement : 5

I.3.3 L'unité de transmission : 5

I.3.4 L'unité de contrôle d'énergie : 6

I.4 Définition Du RCSFs : 7

I.5 Architecture d'un RCSF : 7

I.6 Topologies des réseaux de capteurs sans fils: 8

I.6.1 Topologie Hiérarchique : 8

I.6.2 Topologie plate (Flat) : 9

I.6.3 Topologie basée sur la Localisation : 10

I.7 Applications des RCSFs.....10

I.7.1 Applications militaires : 11
I.7.2 Applications à la sécurité :....12
I.7.3 Applications environnementales : 12
I.7.4 Applications médicales :....13
I.7.5 Applications commerciales :....14
I.8 Contraintes de conception des RCSF : 15
I.9 Consommation d'énergie dans les RCSF : 16
I.9.1 Energie de capture:....16
I.9.2 Energie de traitement :....16
I.9.3 Energie de communication : 17
I.9.4 Modèle de consommation d'énergie:....17
I.9 Conclusion :....19

Chapitre II: Le protocole de routage hiérarchique

II.1 Introduction : 20
II.2 Techniques de clusterisation: 20
II.3 Avantage d'organiser un réseau en groupes : 21
II.4 Modes de communication: 22
II.4.1 Mode de communication mono-saut : 22
II.4.1 Mode de communication multi-sauts : 23
II.5 Protocole d'auto-organisation LEACH: 24
II.5.1 Principe général de fonctionnement du protocole LEACH : 25
II.5.2 La Phase de construction (Set up phase) : 26
II.5.3 Phase de communication : 30
II.6 Le Protocole SEP (Stable Election Protocol):.... 32
II.7 Protocole Z-SEP (Zonal-Stable Election Prot) : 33

II.8 Comparaison entre les quatres protocoles d'auto-organisation: 35

II.9 Conclusion: 37

Chapitre III: Nouvelle technique proposée au protocole De routage des données LEACH

III.1 Introduction : 38

III.2 Modèle de réseau de couplage avancé : 38

III.2.1 Phase de transmission du réseau : 40

III.2.2 Phase de configuration du mode des nœuds (Node Mode Setup Phase) : 42

III.3 Algorithme de configuration : 42

III.4 L'organigramme de Protocole LEACH modifié : 43

III.5 Résultat de simulation de LEACH modifié : 45

III.6 Comparaison entre les protocoles d'auto-organisation et le nouveau protocole : 47

III.7 Conclusion : 52

Conclusion générale : 53

Figure I. 1 : Exemple de Quelques capteurs sans fils 3
Figure I. 2: Architecture d'un nœud capteur 5
Figure I. 3: Architecture de communication d'un RCSF 7
Figure I. 4: Les informations d'un nœud capteur vers le nœud Sink 8
Figure I. 5: Un service militaire utilisant les RCSFs 10
Figure I. 6: Applications à la sécurité 11
Figure I. 7: Application des RCSFs dans le domaine de la médecine 12
Figure I. 8: Exemples d'applications des RCSF 14
Figure I. 9: Modèle de consommation d'énergie 17

Figure II. 1: Exemple d'une structure des clusters 22
Figure II. 2: Réseau hiérarchique mono-saut 23
Figure II. 3: Réseau hiérarchique multi-sauts 24
Figure II. 4: Le Protocol d'auto-organisation LEACH 25
Figure II. 5: Le déroulement du protocole LEACH en cycles 26
Figure II. 6: Probability Optimal 27
Figure II. 7: Méthodes D'accès Au Médium 29
Figure II. 8: Algorithme des Opérations de la Phase de construction de LEACH 30
Figure II.9: Algorithme des Opérations de la phase de communication *de LEACH* 31
Figure II. 10: Répartition de nœuds du réseau avec Z-SEP 33
Figure II. 11: comparaison Nombre de nœuds vivants en fonction du nombre de tours 35
Figure II. 12: comparaison de paquets envoyés à la station de base 36
Figure II. 13: comparaison d'énergie consommée en fonction de tours 36

Figure III. 1: Modèle de couplage de réseau avancé (LEACH-M) 41
Figure III. 2: Algorithme de configuration 42
Figure III. 3: la stabilité en fonction de nombre tours 45
Figure III. 4: paquet envoyés à la station de base fonction de tours 46
Figure III. 5: l'énergie consommée en fonction de tours 47

Figure III. 6: comparaison des nœuds morts en fonction des rounds 49
Figure III. 7: comparaison de stabilité en fonction des protocoles 49
Figure III. 8: comparaison de l'énergie consommée en fonction des rounds 50

Figure III. 9: comparaison d'énergie en fonction des protocoles 50
Figure III. 10: de la donnée envoyée à la station de base en fonction des rounds…..……51
Figure III. 11: de la donnée envoyée à la station de base..... 51

LISTE DES TABLAUX

Tableau II.1 : Les Paramètres de Simulation.....35

Tableau III.2 : montre l'efficacité du protocole LEACH-M Par rapport aux protocoles LEACH, LEACH hétérogène, SEP et Z-SEP……...…….....48

Liste d'abréviations

ADV: Advertisment message

CDMA: Code Division Multiple Access

C H: Cluster-head (chef de groupe)

EUI: End-system Unique Identifier

GPS: Global Positioning System

IP: Internet Protocol

LEACH: Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy

LEACH-A: Advanced Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy

LEACH-M: Modifier Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy

LDA : Location Dépendent Adressa

TDMA: Time Division Multiple Access

RCSF : réseaux de capteur sans fil

WSN: Wireless Sensors Network

MIPS : millions d'instructions par seconde

SEP : Stable Election Protocol

Z-SEP : Zonal-Stable Election Protocole

INTRODUCTION

Générale

Introduction générale

L'évolution dans le domaine des communications sans fil et l'informatique mobile gagne de plus en plus une popularité et les composants mobiles deviennent de plus en plus fréquents. Comme beaucoup de développements technologiques, les réseaux de capteurs sans fil ont émergé pour des besoins militaires tels que la surveillance sur le terrain de combat. Puis, ils ont trouvé leur chemin pour des applications civiles. Aujourd'hui, les réseaux de capteurs sans fil sont devenus une technologie clé pour les différents types "d'environnements intelligents". [4]

Ces réseaux sont d'une importance particulière quand un grand nombre de nœuds de capteurs doivent être déployés, dans des situations dangereuses. Par exemple, pour une gestion des catastrophes, un grand nombre de capteurs peuvent être largués par un hélicoptère.

Les réseaux de capteurs sont constitués de plusieurs capteurs minuscules ou nœuds ayant une caractéristique essentielle résidant dans l'absence d'infrastructure fixe et ayant une topologie changeante due à la mobilité des capteurs et pose le problème de l'épuisement de leurs batteries. [4]

Dans de nombreuses applications, on veut recueillir les données de tous les capteurs dans une station spécifique pour le traitement, ou pour l'archivage.

Les principaux problèmes dans les réseaux de capteurs sans fil ou les WSNs "WirelessSensor Networks" sont le protocole de routage, l'énergie consommée par le nœud, la sécurité, l'agrégation de données, la mobilité imprévisible des nœuds, etc. Ces capteurs sont parfois déployés dans des zones hostiles. Il est donc nécessaire d'avoir une stratégie efficace qui prend en considération l'énergie du réseau pour augmenter sa durée de vie en réduisant la perte d'énergie. [4]

Les progrès récents dans les réseaux de capteurs sans fil ont conduit au développement de nombreux protocoles spécifiquement conçus pour les réseaux de capteurs où la présentation de l'énergie est un facteur essentiel.

L'objectif principal de la plupart des protocoles de routage est de trouver des algorithmes et des techniques efficaces en termes d'énergie afin que la durée de vie du réseau soit maximisée. [28]

Dans ce mémoire, nous allons nous intéresser aux problèmes relatifs au routage des données sur les WSNs et plus précisément le routage hiérarchique de données. Ce thème de recherche est très important car il offre un fondement indispensable à toutes les autres couches supérieures de ces réseaux. Le routage hiérarchique est considéré comme un outil permettant plus de performance en ce qui concerne la consommation de l'énergie par rapport aux autres types de routage, à savoir, le routage à topologie plate et le routage géographique. [4]

Plusieurs solutions de routage hiérarchique sont présentées dans la littérature [8] 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.

La démarche adoptée dans ce travail, en une première phase, qui est la présentation d'un réseau de capteur sans fils, l'étude et l'analyse des solutions de routage existantes pour mettre en évidences les avantages et les inconvénients de chaque proposition et dégager les questions où de nouvelles contributions s'imposent. En deuxième phase, l'objectif a été de présenter un nouveau protocole hiérarchique qui garantit une meilleure consommation en énergie et une longue durée de vie du réseau.

Notre mémoire est organisé comme suit; un premier chapitre présente le contexte de notre travail qui est les réseaux de capteurs sans fil (WSNs) considérés comme un type nouveau et particulier de réseaux de communication. Le deuxième chapitre est consacré au défi majeur des WSNs qui est le routage de données d'une manière générale où seront exposés les nouveaux paradigmes de conception des protocoles et les différentes solutions existantes. Nous nous intéressons plus particulièrement, au routage hiérarchique de données sur les WSNs. Ce chapitre regroupe tout un ensemble de solutions qui sont présentées et étudiées. Le troisième chapitre, est consacré à la présentation d'un nouveau protocole de routage hiérarchique pour les WSNs, nommé LEACH intelligent. Il se base sur le couplage des nœuds voisin deux à deux et qui travaillent en alternance afin d'éviter la redondance des données captées pour réduire le nombre des messages venant de la même région et cette

technique va réduire la consommation de l'énergie et prolongera la durée de vie du réseau.

Enfin, nous présenterons une conclusion générale qui résume nos contributions et définie nos perspectives de recherches pour les travaux futures.

Chapitre I

Généralités sur les RCSFs

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 [1].

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 faire une description synthétique des réseaux de capteurs, leurs architectures, leurs caractéristiques et contraintes ainsi que leurs domaines d'applications variés. [1]

I.2. Définition des capteurs *:*

Un capteur sans fil est un petit dispositif électronique capable de mesurer une valeur physique environnementale (température, lumière, pression, etc.) et de la communiquer à un centre de contrôle via une station de base. Les progrès conjoints de la microélectronique, des technologies de transmission sans fil et des applications logicielles ont permis de produire à coût raisonnable des micro-capteurs de quelques millimètres cubes de volume, susceptibles de fonctionner en réseaux [1] .

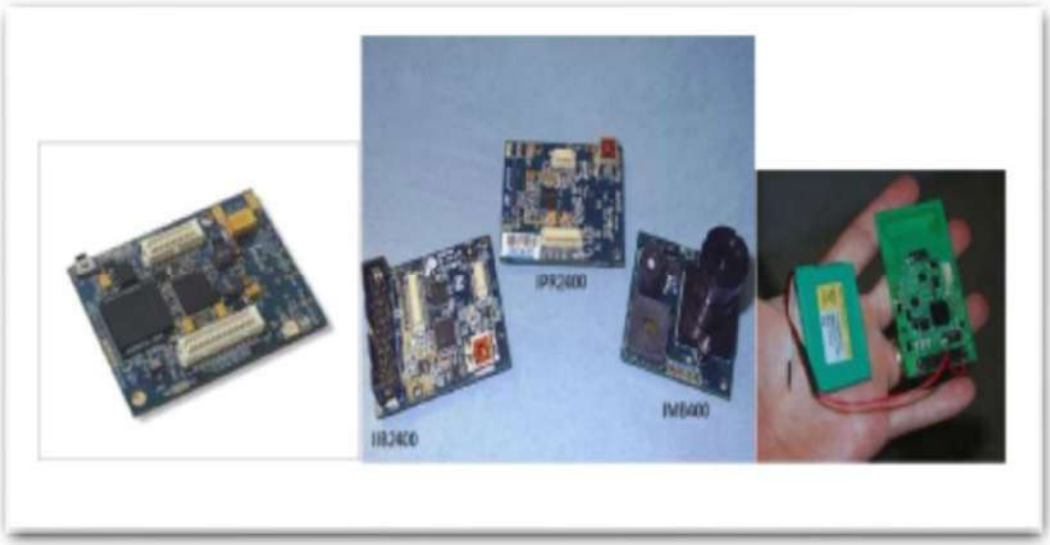


Figure I.1 : Exemple de Quelques capteurs sans fils. [9]

I.3. Architecture d'un capteur *:*

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). On peut même trouver des micro-capteurs, un peu plus volumineux, dotés d'un système mobilisateur chargé de déplacer le Micro-capteur en cas de nécessité. [1]

❖ I.3.1. L'unité de captage *:*

L'unité de captage est généralement composée de deux sous-unités : le capteur lui-même et un convertisseur Analogique/Numérique. Le capteur est responsable de fournir des signaux Analogiques, basés sur le phénomène observé, au convertisseur Analogique/Numérique. Ce dernier transforme ces signaux en un signal numérique compréhensible par l'unité de Traitement. [1]

❖ I.3.2. L'unité de traitement *:*

L'unité de traitement comprend un processeur associé généralement à une petite unité de stockage et fonctionne à l'aide d'un système d'exploitation spécialement conçu pour le micro capteur (Tiny OS par exemple). Cette unité est chargée d'exécuter les protocoles de communication qui permet de faire collaborer le nœud avec les autres nœuds du réseau.[1]

Elle peut aussi analyser les données captées pour alléger la tâche du nœud puits.

❖ I.3.3. L'unité de transmission *:*

Cette unité est responsable d'effectuer toutes les émissions et réceptions des données sur un medium sans fil. Elle peut être de type optique (comme dans les nœuds Smart Dust), ou de type radiofréquence. Les communications de type optique sont robustes vis-à-vis des interférences électriques. Néanmoins, elles présentent l'inconvénient d'exiger une ligne de vue permanente entre les entités communicantes.

Par conséquent, elles ne peuvent pas établir de liaisons à travers des obstacles. Les unités de transmission de type radio- fréquence comprennent des circuits de modulation, démodulation, filtrage et multiplexage; ce qui implique une augmentation de la complexité et du coût de production du micro-capteur. Concevoir des unités de transmission de type radio- fréquence avec une faible consommation d'énergie est un véritable défi. En effet, pour qu'un nœud ait une

portée de communication suffisamment grande, il est nécessaire d'utiliser un signal assez puissant. Cependant, l'énergie consommée serait importante. L'autre alternative serait d'utiliser de longues antennes, mais ceci n'est pas possible à cause de la taille réduite des micro-capteurs [1]

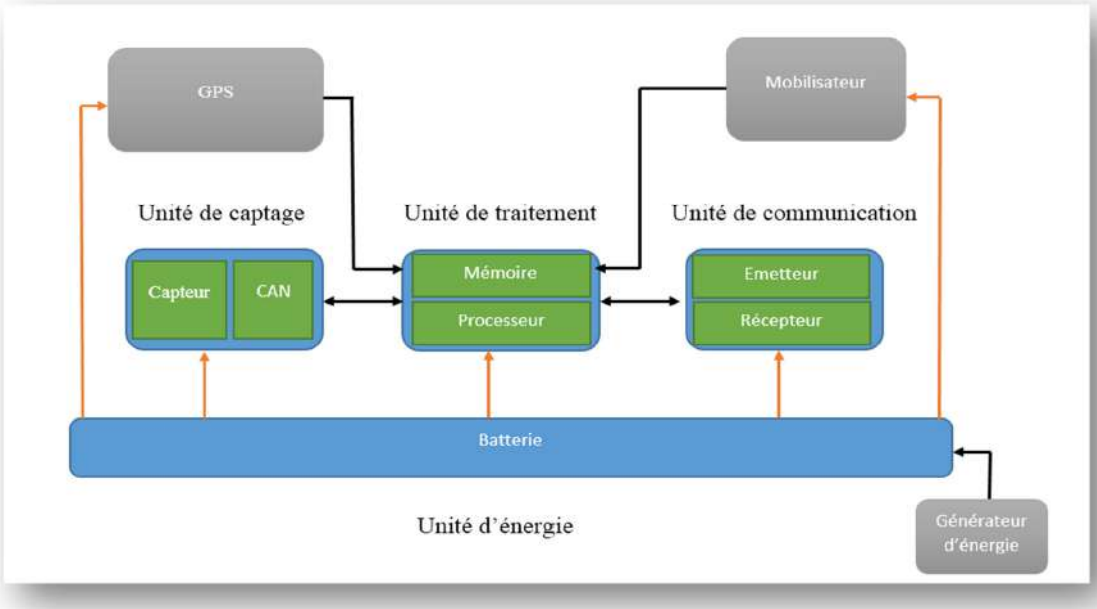
❖ I.3. 4. L'unité de contrôle d'énergie :

Un micro-capteur est muni d'une ressource énergétique (généralement une batterie) pour alimenter tous ses composants.

Ce pendant, en conséquence de sa taille réduite, la ressource énergétique dont il dispose est limitée et est généralement irremplaçable. Dès lors, l'énergie est la ressource la plus précieuse dans un réseau de capteurs, puisque elle influe directement sur la durée de vie des micro-capteurs, voire du réseau en entier.

L'unité de contrôle d'énergie constitue donc l'un des systèmes les plus importants. Elle est responsable de répartir l'énergie disponible aux autres modules et de réduire les dépenses en mettant en veille les composants inactifs par exemple.

Cette unité peut aussi gérer des systèmes de rechargement d'énergie à partir de l'environnement observé telles que les cellules solaires, afin d'étendre la durée de vie [1]



Figue I.2 : Architecture d'un nœud capteur

I.4. Définition Du RCSFs :

Un RCSF est un acronyme pour réseau de capteurs sans fil ou WSN : Wireless Sensor Network, souvent apparenté au réseau ad-hoc de leur utilisation commune des ondes radio, ainsi que leurs architectures décentralisées ; les RCSF sont aussi considérés comme leurs successeurs.

Les RCSF sont des systèmes embarqués, ils se composent d'un ensemble d'unités de traitement embarqué appelé « motes » qui communiquent a travers des liens sans fil, le déploiement de plusieurs unités se fait dans le but de collecter ou de capter des données (de type sonores, vibrations, lumière…) et de les transmettre.

Grace aux récentes avancées technologiques le développement de très petits capteurs à faible cout et consommant peu d'énergie a pu être réalisé.

Afin de mieux cerner les réseaux de ces capteurs sans fil la figure qui suit représente leur mode de fonctionnement global. [1]

I.5. Architecture d'un RCSF :

Un RCSF est composé d'un ensemble de nœuds capteurs. Ces nœuds capteurs sont organisés en champs « sensor Fields » (voir figure suivante). Chacun de ces nœuds a la capacité de collecter des données et de les transférer au nœud passerelle (dit "sink" en anglais ou puits) par l'intermédiaire d'une architecture multi-sauts. Le puits transmet ensuite ces données par Internet ou par satellite à l'ordinateur central «Gestionnaire de taches» pour analyser ces donner et prendre des décisions. [2]

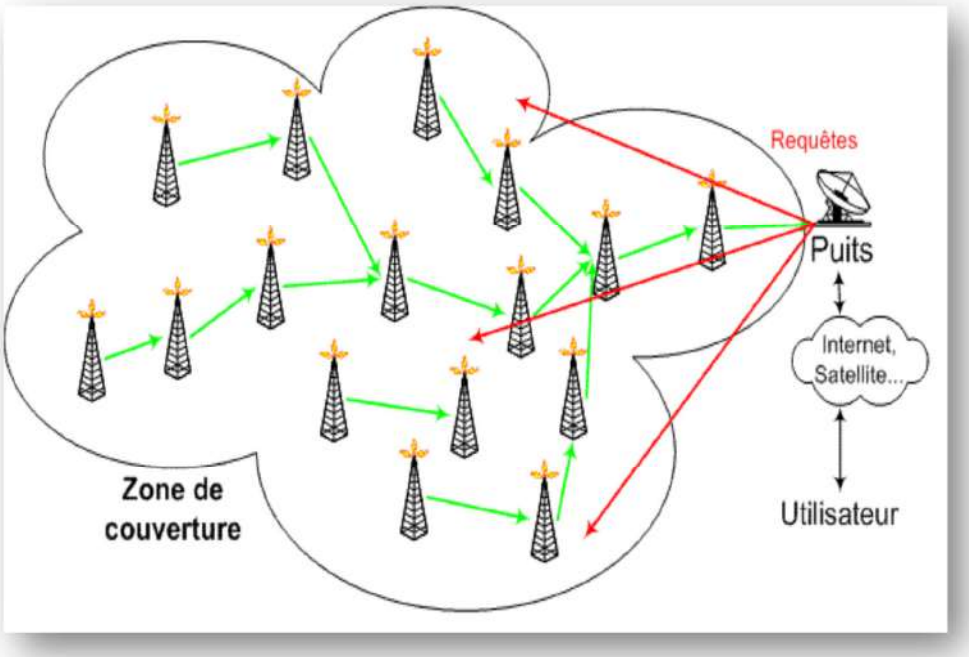


Figure I.3 : Architecture de communication d'un RCSF [11]

I.6. Topologies des réseaux de capteurs sans fils :

Les topologies des réseaux de capteurs sont déterminées à partir des protocoles de routage utilisés pour l'acheminement des données entre les nœuds et le Puits (Sink). Ces protocoles peuvent être Hiérarchique, Plate (Flat) ou Topologie basée sur la localisation. [3]

❖ I.6.1. Topologie Hiérarchique *:*

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

simple, puisqu'il s'agit de passer par les passerelles pour atteindre le nœud destination. [3]

Un réseau basé sur une topologie hiérarchique doit avoir au moins trois niveaux dans sa hiérarchie, puisqu'un réseau avec un nœud central *Sink* et seulement un niveau hiérarchique au-dessous, forme une topologie en étoile [3].

Si les nœuds dans un réseau basé sur la topologie hiérarchique doivent effectuer un tel traitement sur les données transmises entre les nœuds dans le réseau, alors les nœuds qui sont à des niveaux plus élevés dans la hiérarchie doivent effectuer plus de traitement que les nœuds de niveau inférieur.

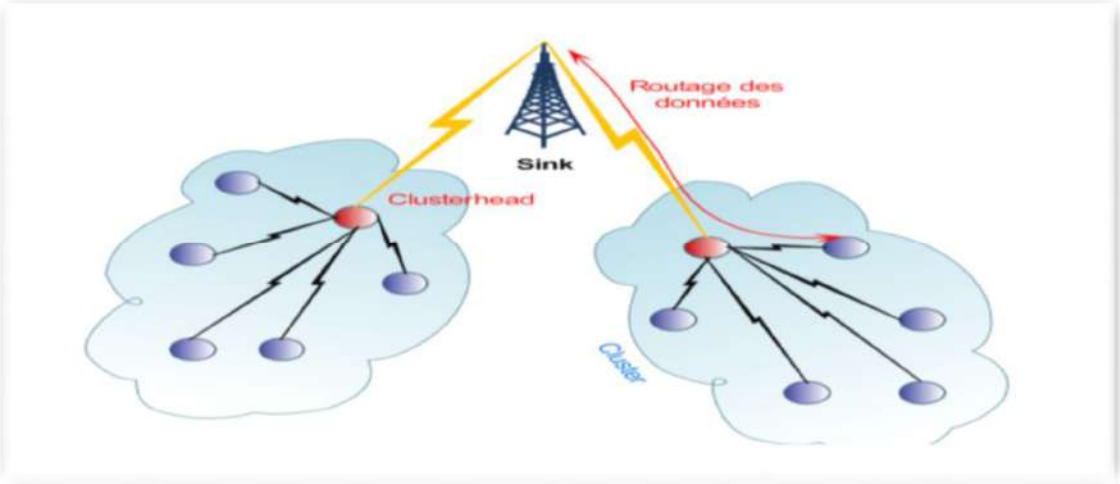


Figure I.4 : montre que, les informations sont transmises d'un nœud capteur vers le nœud Sink (station de base) en passant par le Cluster Head (chef de groupe) déjà élu. [3]

❖ I.6.2. Topologie plate (Flat) :

Les protocoles à topologie plate (*flat*) considèrent que tous les nœuds sont égaux, ont les mêmes fonctions, et peuvent communiquer entre eux sans devoir passer par un nœud particulier ou une passerelle. Seul un nœud particulier, le *Sink*, est chargé de la collecte des données issues des différents nœuds capteurs afin de les transmettre vers les centres de traitement.

En cas où la destination ne fait pas partie du voisinage de la source, les données seront transmises en utilisant les sauts multiples à travers les nœuds intermédiaires comme c'est illustré dans **la Figure I.4**. Ce type de réseau représente l'avantage de l'existence de différents chemins d'une source vers une destination et c'est pour remédier au problème de changement brusque de topologie ou la défaillance d'un nœud intermédiaire [3].

❖ I.6.3. Topologie basée sur la Localisation :

Dans cette topologie le réseau est supposé comme suit :

- Le réseau est partitionné en plusieurs zones de localisation.
- Chaque zone à son identifiant.
- Chaque nœud a un identifiant EUI (End-system Unique Identifier) et enregistre dynamiquement l'identifiant de la zone à laquelle il appartient temporairement.

L'information temporaire de localisation appelée LDA, [4] (*Location Dépendent Adressa*) qui est un triplet de coordonnées géographiques (longitude, latitude, altitude) obtenues, par exemple, au moyen d'un GPS avec une précision dépendant du type de l'application. Une telle topologie exige l'implémentation d'un algorithme de gestion de localisation qui permet aux nœuds de déterminer les endroits approximatifs des autres nœuds. Ce type de topologie est mieux adapté aux réseaux avec une forte mobilité.

Avant d'envoyer ses données à un nœud destination, le nœud source utilise un mécanisme pour déterminer la localisation de la destination puis inclus l'identifiant de zone de localisation et du nœud destination dans l'entête du paquet à envoyer.

I.7. Applications des RCSFs :

La taille de plus en plus réduite des micro-capteurs, le coût de plus en plus faible, la large gamme des types de capteurs disponibles (thermique, optique, vibrations, etc.) ainsi que le support de communication sans fil utilisé, permettent aux réseaux de capteurs d'envahir plusieurs domaines d'applications. Ils permettent aussi d'étendre les applications existantes et de faciliter la conception d'autres systèmes tels que le contrôle et l'automatisation des chaînes de montage. Les réseaux de capteurs ont le potentiel de révolutionner la manière même de comprendre et de construire les systèmes physiques complexes. Les réseaux de capteurs peuvent se révéler très utiles dans de nombreuses applications lorsqu'il s'agit de collecter et de traiter des informations provenant de l'environnement. 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. [5]

❖ I.7.1 Applications militaires :

Comme dans le cas de plusieurs technologies, 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. Comme exemple d'application dans ce domaine, on peut penser à un réseau de capteurs déployé sur un endroit stratégique ou difficile d'accès, afin de surveiller toutes les activités des forces ennemies, ou d'analyser le terrain avant d'y envoyer des troupes (détection d'agents chimiques, biologiques ou de radiations). Des tests concluants ont déjà été réalisés dans ce domaine par l'armée américaine dans le désert de Californie [5].



Figure I.5 : Un service militaire utilisant les RCSFs [5]

❖ I.7.2 Applications à la sécurité :

Les altérations dans la structure d'un bâtiment, suite à un séisme ou au vieillissement, Pourraient être détectées par des capteurs intégrés dans les murs ou dans le béton, sans Alimentation électrique ou autres connexions filaires. Les capteurs doivent s'activer Périodiquement et peuvent ainsi fonctionner durant des années, voire des décennies.

Un Réseau de capteurs de mouvements peut constituer un système d'alarme distribué qui servira à détecter les intrusions sur un large secteur. Déconnecter le système ne serait plus aussi simple, puisque il n'existe pas de point critique. La surveillance de voies ferrées pour prévenir des accidents avec des animaux et des êtres humains peut être une application



Figure I.6 : Applications à la sécurité. [5]

Intéressante des réseaux de capteurs. La protection des barrages pourrait être accomplie en y introduisant des capteurs. La détection de fuites d'eau Permettrait d'éviter des dégâts. Les êtres humains sont conscients des risques et attaques qui Les menacent. Du coup, ils mettent à disposition toutes les ressources humaines et financières nécessaires pour leur sécurité. Cependant, des failles sont toujours présentées dans les mécanismes de sécurisation appliqués aujourd'hui, sans oublier leur coût très élevé.

L'application des réseaux de capteurs dans le domaine de la sécurité pourrait diminuer considérablement les dépenses financières consacrées à la sécurisation des lieux et à la protection des êtres humains tout en garantissant de meilleurs résultats.

❖ I.7.3. Applications environnementales :

Des thermo-capteurs dispersés à partir d'un avion sur une forêt peuvent signaler un éventuel début d'incendie dans le champ de captage; ce qui permettra une meilleure efficacité pour la lutte contre les feux de forêt.

Dans les champs agricoles, les capteurs peuvent être Semés avec les graines. Ainsi, les zones sèches seront facilement identifiées et l'irrigation sera donc plus efficace.

Sur les sites industriels, les centrales nucléaires ou dans les pétroliers, des Capteurs peuvent être déployés pour détecter des fuites de produits toxiques (gaz, produits chimiques, éléments radioactifs, pétrole, etc.) et alerter les utilisateurs dans un délai suffisamment court pour permettre une intervention efficace.

Une grande quantité de capteurs peut être déployée en forêt ou dans un environnement de conservation de la faune afin de recueillir des informations diverses sur l'état du milieu naturel Et sur les comportements de déplacement. ; Par exemple, l'université de Pise en Italie a réalisé

des réseaux de capteurs pour le contrôle des parcs naturels (feux, animaux,..). Il est ainsi possible "d'observer", sans déranger, des espèces animales difficiles à étudier dans leur environnement naturel et de proposer des solutions plus efficaces pour la conservation de la faune. Les éventuelles conséquences de la dispersion en masse des micro-capteurs dans l'environnement ont soulevé plusieurs Inquiétudes. En effet, chaque micro-capteur est doté d'une batterie qui contient des métaux nocifs. Néanmoins, le déploiement d'un million de capteurs de 1 millimètre cube chacun ne représente qu'un volume total d'un litre. Même si tout ce volume était constitué de batteries, Cela n'aurait pas des répercussions désastreuses sur l'environnement.

❖ I.7.4. Applications médicales :

On pourrait imaginer que dans le futur, la surveillance des fonctions vitales de l'être humain serait possible grâce à des micro-capteurs qui pourront être avalés ou implantés sous La peau. Actuellement, des micro-caméras qui peuvent être avalées existent. Elles sont capables, sans avoir recours à la chirurgie, de transmettre des images de l'intérieur d'un corps humain avec une autonomie de 24 heures. Les auteurs d'une récente étude, présentent des capteurs qui fonctionnent à l'intérieur du corps humain pour traiter certains types de maladies. Leur projet actuel est de créer une rétine artificielle composée de 100 micro-capteurs pour corriger la vue. D'autres ambitieuses applications biomédicales sont aussi présentées, tel que : la surveillance du niveau de glucose, le monitoring des organes vitaux ou la détection de cancers. L'utilisation des réseaux de capteurs dans le domaine de la médecine pourrait apporter une surveillance permanente des patients et une possibilité de collecter des Informations physiologiques de meilleure qualité, facilitant ainsi le diagnostic de quelques Maladies.

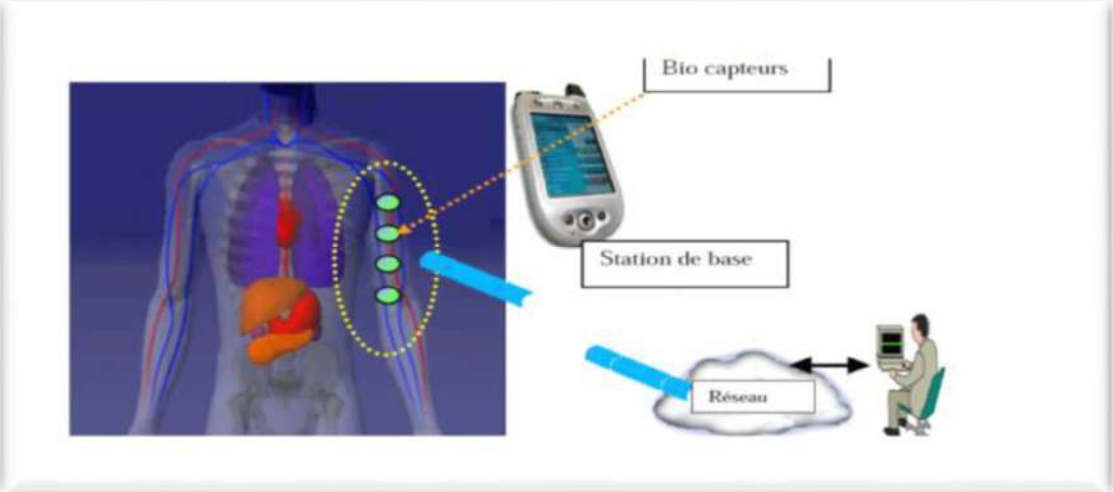


Figure I.7 : Application des RCSFs dans le domaine de la médecine [6]

❖ I.7.5. Applications commerciales :

Il est possible d'intégrer des nœuds capteurs au processus de stockage et de livraison. Le réseau ainsi formé, pourra être utilisé pour connaître la position, l'état et la direction d'un paquet ou d'une cargaison. Il devient alors possible pour un client qui attend la réception d'un paquet, d'avoir un avis de livraison en temps réel et de connaître la position actuelle du paquet. Pour les entreprises manufacturières, les réseaux de capteurs permettront de suivre le Procédé de production à partir des matières premières jusqu'au produit final livré. Grâce aux réseaux de capteurs, les entreprises pourraient offrir une meilleure qualité de service tout en réduisant leurs coûts. Dans les immeubles, le système de climatisation peut être conçu en intégrant plusieurs Micro-capteurs dans les tuiles du plancher et les meubles. Ainsi, la climatisation pourra être déclenchée seulement aux endroits où il y a des personnes présentes et seulement si c'est nécessaire. Le système distribué pourra aussi maintenir une température homogène dans les pièces. Utilisée à grande échelle, une telle application permettrait de réduire la demande mondiale en énergie réduisant du même coup les gaz à effet de serre.

Rien que pour les Etats-Unis, on estime cette économie à 55 milliards de dollars par an Avec une diminution de 35 millions de tonnes des émissions de carbone dans l'air. Ainsi, dans Un contexte mondial où le réchauffement de la planète devient une préoccupation grandissante, une telle conséquence environnementale serait un pas dans la bonne direction [5].

D'autres applications des réseaux de capteurs sont illustrées dans la figure I.6 qui suit [7].



Figure I.8 : Exemples d'applications des RCSF [7]

I.8. Contraintes de conception des RCSF

Les principaux facteurs et contraintes influençant l'architecture des réseaux de capteurs peuvent être résumés comme suit:[2]

- **La tolérance de fautes :** Certain nœuds peuvent générer des erreurs ou ne plus fonctionner à cause d'un manque d'énergie, un problème physique ou une interférence. Ces problèmes n'affectent pas le reste du réseau, c'est le principe de la tolérance de fautes. La tolérance de fautes est la capacité de maintenir les fonctionnalités du réseau sans interruptions dues à une erreur intervenue sur un ou plusieurs capteurs.
- **L'échelle** : Le nombre de nœuds déployés pour un projet peut atteindre le million. Un nombre aussi important de nœuds engendre beaucoup de transmissions inter nodales et nécessite que le puits "sink " soit équipé de beaucoup de mémoire pour stocker les informations reçues.
- **Les coûts de production** : Souvent, les réseaux de capteurs sont composés d'un très grand nombre de nœuds. Le prix d'un nœud est critique afin de pouvoir concurrencer un réseau de surveillance traditionnel. Actuellement un nœud ne coûte souvent pas beaucoup plus que 1$. A titre de comparaison, un nœud Bluetooth, pourtant déjà connu pour être un système Löw-cos, revient environ à 10$.
- **L'environnement** : Les capteurs sont souvent déployés en masse dans des endroits tels que des champs de bataille au delà des lignes ennemies, à l'intérieur de grandes machines, au fond d'un océan, dans des champs biologiquement ou chimiquement

souillés,... Par conséquent, ils doivent pouvoir fonctionner sans surveillance dans des régions géographiques éloignées.

- **La topologie de réseau** : Le déploiement d'un grand nombre de nœuds nécessite une maintenance de la topologie. Cette maintenance consiste en trois phases : Déploiement, Post-déploiement (les capteurs peuvent bouger, ne plus fonctionner,...), redéploiement de nœuds additionnels
- **Les contraintes matérielles** : La principale contrainte matérielle est la taille du capteur. Les autres contraintes sont que la consommation d'énergie doit être moindre pour que le réseau survive le plus longtemps possible, qu'il s'adapte aux différents environnements (fortes chaleurs, eau,..), qu'il soit autonome et très résistant vu qu'il est souvent déployé dans des environnements hostiles.
- **Les médias de transmission** : Dans un réseau de capteurs, les nœuds sont reliés par une architecture sans-fil. Pour permettre des opérations sur ces réseaux dans le monde entier, le média de transmission doit être normé. On utilise le plus souvent l'infrarouge (qui est License free, robuste aux interférences, et peu onéreux), le Bluetooth et les communications radio Zig Bee.
- **La consommation d'énergie** : Un capteur, de par sa taille, est limité en énergie (< 1.2V). 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 grandement de la durée de vie de la batterie. Dans un réseau de capteurs (multi-sauts) chaque nœud collecte des données et envoie/transmet des valeurs. Le dysfonctionnement de quelques nœuds nécessite un changement de la topologie du réseau et un ré-routage des paquets. Toutes ces opérations sont gourmandes en énergie, c'est pour cette raison que les recherches actuelles se concentrent principalement sur les moyens de réduire cette consommation.

I.9. Consommation d'énergie dans les RCSF :

Les capteurs sont conçus avec un module d'énergie limité. Ainsi, cette dernière doit être utilisée efficacement afin de maximiser la durée de vie du réseau. De plus, une fois l'énergie d'un nœud épuisée, il est considéré défaillant ce qui provoque une forte probabilité de perdre la connectivité du réseau.

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

❖ I.9 .1 Energie de capture :

L'énergie de capture est dissipée pour accomplir les tâches suivantes : échantillonnage, traitement de signal, conversion analogique/numérique et activation de la sonde de capture. En général, l'énergie de capture représente un faible pourcentage de l'énergie totale consommée par un nœud [8].

❖ I.9 .2 Energie de traitement :

L'énergie de traitement se divise 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 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 [8].

❖ I.9 .3 Energie de communication :

L'énergie de communication se décline en deux parties : l'énergie de réception et l'énergie d'émission.

Cette énergie est déterminée par la quantité de 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 [8].

❖ I.9 .4 Modèle de consommation d'énergie :

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

- 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 effectué.
- Communication : Les communications consomment beaucoup plus d'énergie que les autres tâches. Elles couvrent les communications en émission et en réception. La figure I.7 présente un modèle d'antenne et les règles de consommation d'énergie associées [8].

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

$$E_{TX}(k,d) = \begin{cases} E_{elec} * k + \varepsilon_{fs} * k * d^2 & \text{si } d <= d_0 \\ E_{elec} * k + \varepsilon_{tr} * k * d^4 & \text{si non} \end{cases} \quad (I.1)$$

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

$$E_{RX}(k) = E_{elec} * k \quad (I.2)$$

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 $\boldsymbol{d_0} = \sqrt{\frac{\varepsilon_{fs}}{\varepsilon_{tr}}}$

La figure suivante illustre ce modèle de consommation d'énergie.

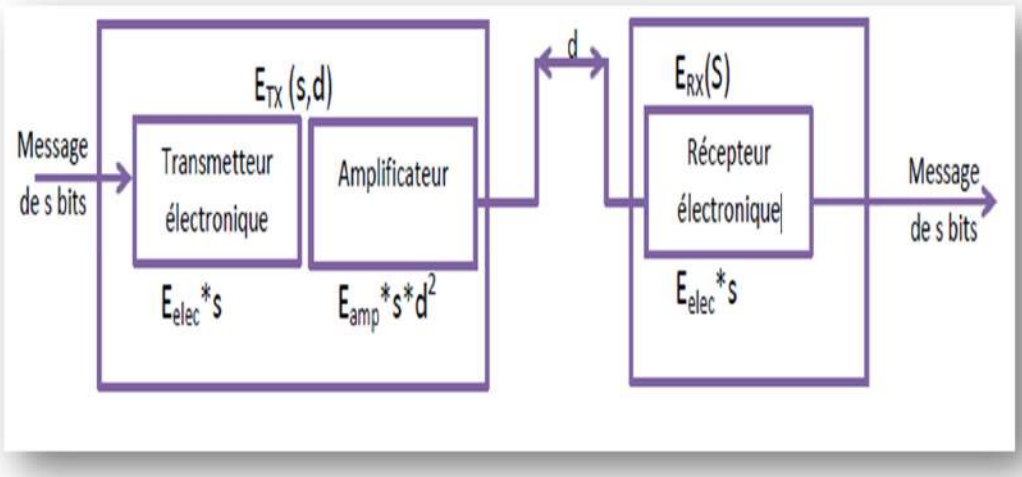


Figure I.9 : Modèle de consommation d'énergie. [8]

Traitement des données : L'énergie consommée pour les opérations de calculs est beaucoup plus faible que l'énergie de communication. L'énergie nécessaire pour transmettre 1 KB sur une distance de 100 m est approximativement équivalente à l'énergie nécessaire pour exécuter 3 millions d'instructions avec une vitesse de 100 millions d'instructions par seconde (MIPS). Ce niveau peut être dépassé en fonction des circuits installés dans les nœuds et des fonctionnalités requises [8].
Par la suite, elle sera calculée en appliquant la formule suivante :
EDA = 5 nJ/bit/signal

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.

Ce pendant, 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 des protocoles 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

Le protocole de routage hiérarchique

II.1. Introduction :

Le routage hiérarchique est considéré comme un outil permettant plus de performance en ce qui concerne la consommation de l'énergie par rapport aux autres types de routage, à savoir, le routage à topologie plate et le routage géographique [12].

Dans un protocole de routage à topologie plate, tous les nœuds effectuent les mêmes taches et transmettent des données souvent redondantes, vue la densité d'un WSN, vers le puit, ce qui épuisent leurs capacité énergétique rapidement. Le routage géographique nécessite, quant à lui, des informations sur la localisation géographique des nœuds pour parvenir à transmettre leurs données vers la zone la plus adéquate, ce qui génère une surconsommation de l'énergie au niveau du réseau [13].

Dans ce chapitre on va présenter les protocoles de routage hiérarchique qui résoudre les problèmes de surconsommation d'énergie et qui prolongent la durée de vie des réseaux. Ces protocoles sont basés sur la technique de clustérisassions.

II.2. Techniques de clusterisation :

La clusterisation consiste à diviser le réseau en un ensemble de groupe de nœuds géographiquement proches. Elle présente alors une solution intéressante pour simplifier et optimiser les fonctions et les services du réseau. En particulier, elle permet au protocole de routage de fonctionner plus efficacement en réduisant le trafic de contrôle dans le réseau et en simplifiant le processus d'aiguillage des données. [14]. [19]

Plusieurs algorithmes de clusterisation ont été proposés et évalués. Ces algorithmes ont des caractéristiques différentes et sont conçus pour satisfaire certains objectifs selon le contexte dans lequel la clusterisation est déployée (auto-organisation, routage, sécurité, conservation de l'énergie, etc.). [15]

II.3. Avantage d'organiser un réseau en groupes :

Le concept de groupe nous permet de définir un groupe d'entités comme une seule entité virtuelle, et cela permet d'attribuer le même nom à chaque membre d'un groupe particulier, et de communiquer avec eux en utilisant la même adresse.

Dans un système distribué en général, la communication entre les nœuds, le transfert d'objets ou de processus, la prise de décisions sont des problèmes qui ne peuvent pas être résolus pour tous les nœuds. Pour remédier à ces problèmes, on a recourt à la formation de sous-ensembles d'entités appelés groupes, (clusters) [14]. Ces Groupes sont composés de membres. Dans chaque groupe, un des membres joue un rôle particulier, et est appelé « cluster Head » ou « chef de groupe ». Il est responsable de la communication entre les différents membres ou niveaux en recevant l'information et en la renvoyant aux autres membres, et en supervisant l'organisation interne du groupe.

Dans un cluster, on retrouve généralement trois types de nœuds comme le montre la ***Figure II.1*** : « cluster-Head », nœuds « passerelles » et nœuds « ordinaires » dite aussi membre. Dans chaque cluster, un nœud est élu comme chef de groupe, appelé cluster-Head, qui possède des fonctions supplémentaires (routage, accès au médium, etc.). Une passerelle est un nœud non-cluster-Head qui possède des liens inter-clusters et peut donc accéder à des clusters voisins et acheminer les données entre eux, tandis qu'un nœud ordinaire est un nœud non-cluster-Head qui ne possède pas des liens avec les autres clusters.

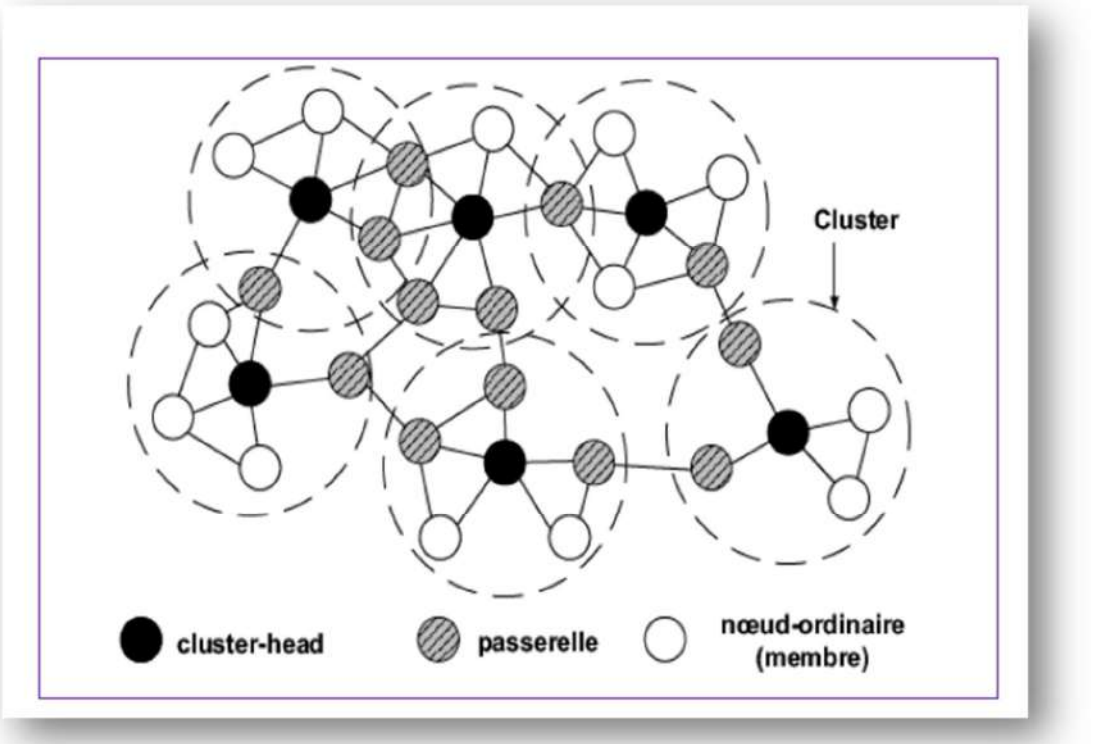


Figure II.1 : Exemple d'une structure des clusters [16]

II.4. Modes de communication :

II.4.1. Mode de communication mono-saut :

Lorsque les nœuds communiquent directement avec la SB sans relayer leurs paquets, il est considéré comme un seul saut. La conception du technique mono-saut peut varier dans différentes topologies des réseaux. Dans le cas d'une conception d'un protocole hiérarchique dont chaque membre envoie ses données à son chef et les chefs effectuent l'agrégation des données avant de transmettre les données raffinées à la SB. Un exemple de ce protocole est le protocole LEACH. D'autre part, une conception du protocole peut complètement adopter une architecture en couches, où chaque nœud est tenu d'envoyer ses données directement à la SB. L'un des protocoles qui utilisent cette approche est le protocole de transmission directe. Dans cette approche, chaque nœud transmet directement à la station de base. Si le SB est loin des nœuds, transmission directe, il faudra grande énergie de transmission, puisque la distance sera suffisamment grande. Cette méthode n'est pas très efficace, car l'énergie des nœuds est consommée rapidement et la durée de vie globale du système est réduite. Cependant, si la SB se trouve dans la région de détection, c'est à dire à l'emplacement central, la performance peut être optimale car la SB est le seul

point de réception de données et l'énergie d'agrégation de données est minimisée sur l'énergie totale du réseau [17].

La **Figure II.2** illustre le mode de communication mono-saut pour un RCSFs-* organisé en clusters.

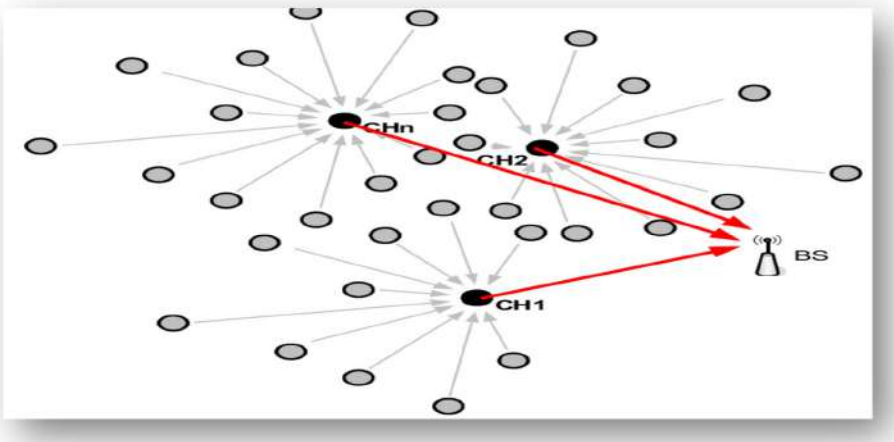


Figure II.2 : Réseau hiérarchique mono-saut [17]

II.4.2. Mode de communication multi-sauts :

Plusieurs auteurs ont proposé d'utiliser le routage multi-sauts pour relayer les données à la SB. Un des premiers travaux est la transmission énergétique minimale (MTE). Les auteurs ont estimé qu'un paquet avec une distance de transmission de plus de 2*ρ – ½ (ρ est la densité dans la zone intermédiaire), doit être acheminé par le biais d'un nœud intermédiaire. [17]

Le but de cette technique est d'utiliser la route avec une consommation d'énergie minimale. Mais comme les auteurs soulignent, la minimisation de l'énergie en multi-sauts est seulement l'un des critères. Comme indiqué, d'autres critères pour un réseau multi-sauts peuvent comprendre la puissance disponible maximale, le minimum de sauts.

Le but de ces conceptions de protocoles modifiés exploite l'approche de l'énergie minimale basée sur l'estimation de la distance. Cette méthode est similaire à l'idée utilisée dans le protocole LEACH, dans le sens que l'énergie est estimée en fonction de la distance, si ce n'est que cette méthode exploite en outre les ressources énergétiques autour de la station de base en transmettant des paquets vers des nœuds de plus près à la SB. Similaire au mode mono-saut, le multi-saut peut être classé

comme un technique inter-cluster et/ou à intra-cluster. On trouve dans la littérature, une proposition d'une communication multi-sauts inter-cluster comme une amélioration du protocole LEACH (**Figure II.3***)*. Le déploiement d'un mode multi-sauts peut être souhaitable si seulement le réseau est assez grand pour compenser l'énergie de l'agrégation des chefs de groupes. [17]

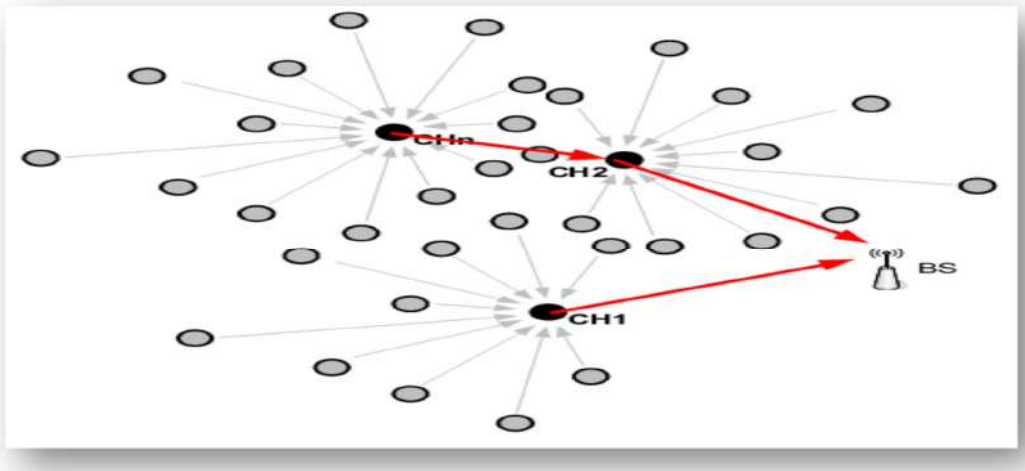


Figure II.3: Réseau hiérarchique multi-sauts [17]

II.5. Protocole d'auto-organisation LEACH :

LEACH **(**Low Energy Adaptive Clustering Hierarchyest) [18],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, figure II.4. LEACH formé de clusters par l'utilisation d'un algorithme hiérarchique (à deux niveaux) distribué, où les nœuds sont autonomes 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.

Sur le parmi des avantages de LEACH, nous citons une réduction d'un facteur 7 de la dissipation d'énergie comparativement avec la communication directe [18]

LEACH est fondé sur deux hypothèses de base:

- La station de base est statique et est placée a la porté de tous les nœuds du 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.

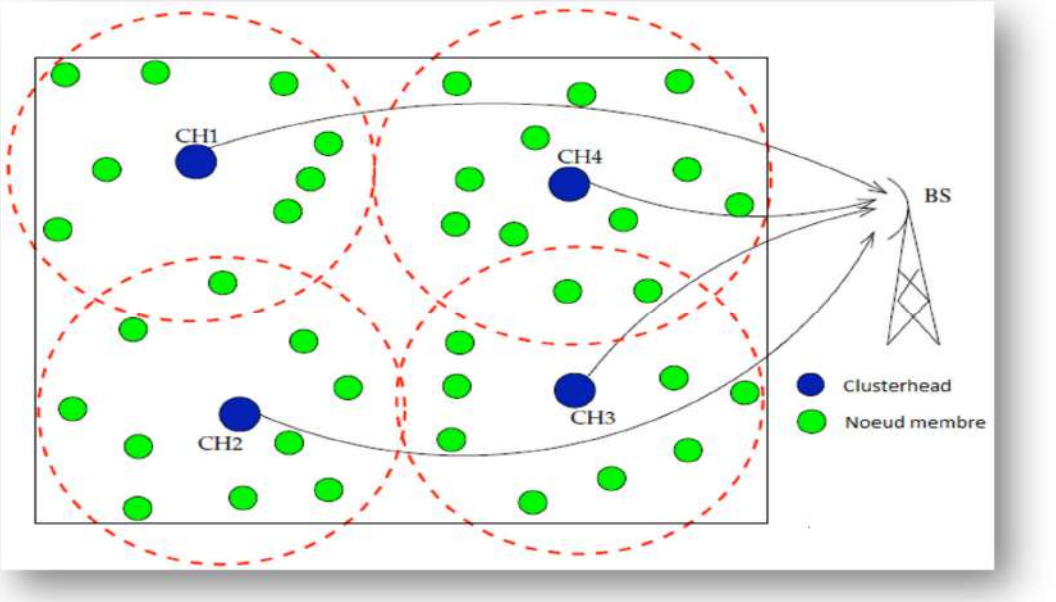


Figure II.4 : Le Protocole d'auto-organisation LEACH [6]

II.5.1. 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-Head de clusters, pour chacun de ces cycles, les cluster-Heads sont sélectionnés aléatoirement parmi les capteurs qui n'ont pas été auparavant élu cluster-Head

Donc le protocole se déroule en cycles. Chaque cycle se compose de deux phases: construction (*Set up phase*) et communication (*Steady-state phase*) [20].

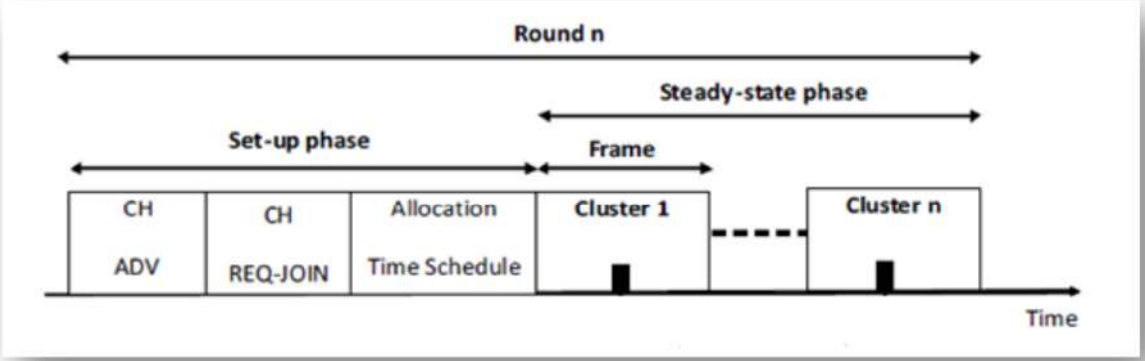


Figure II.5 : Le déroulement du protocole LEACH en cycles [20]

II.5.2. La Phase de construction (Set up phase) :

A-Election des Cluster-Head :

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-Head. T(n) est défini comme suit [21] :

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

Tel que

- p: le pourcentage des CHs sur le réseau (donné par la courbe de la figure II-6-)
- *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.6. 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(m)*100(m).

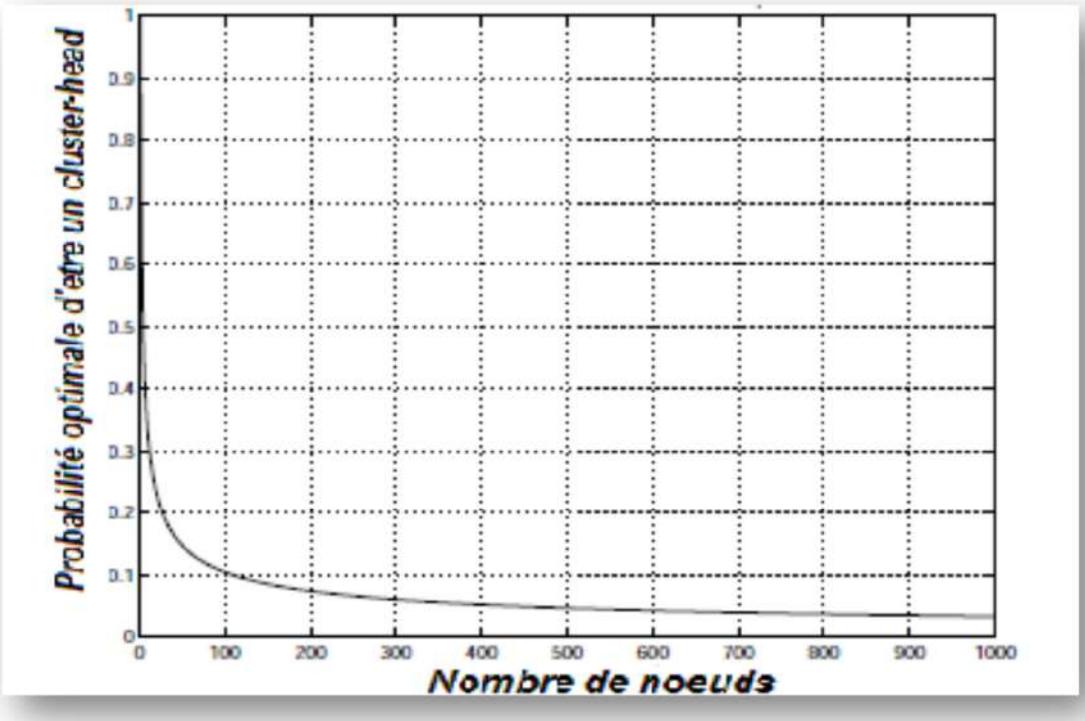


Figure II.6 : Probabilité Optimale [21]

a- Annoncées des Cluster-heads :

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

b*- 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). [4]

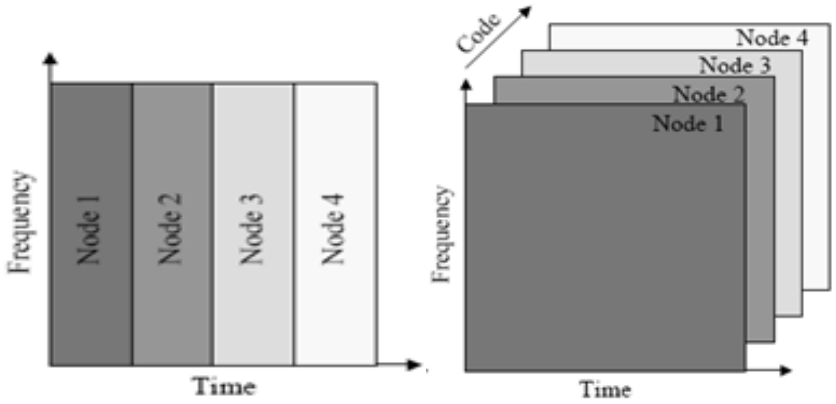
Création de la table TDMA :

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 [MOU 06]. 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. [4]

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 *TimeSlots*. La longueur de la trame est variable d'un cluster à l'autre selon le nombre des nœuds du cluster

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. [4]



TDMA **CDMA**

Figure II-7 : Méthodes D'accès Au Médium [4]

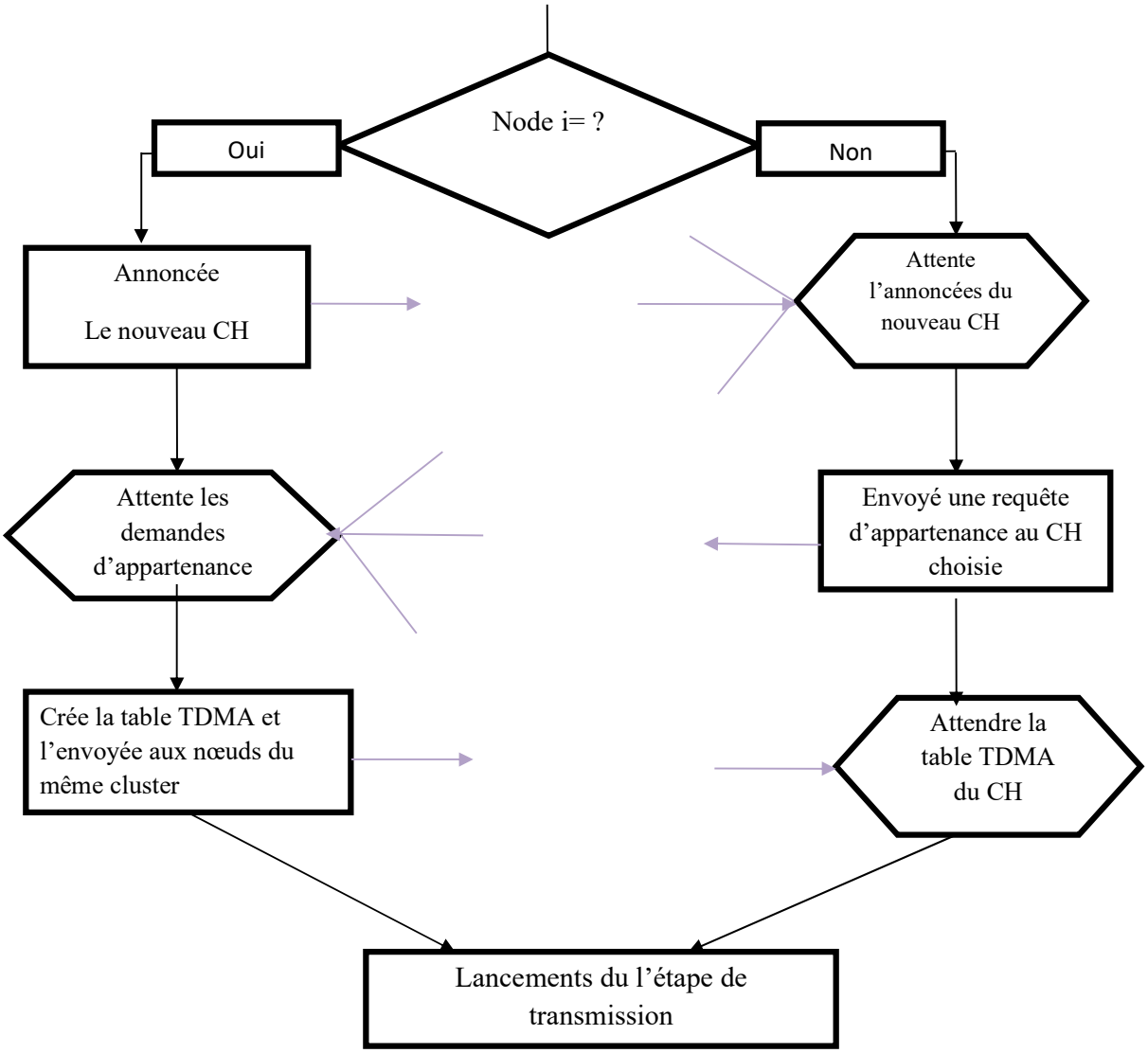


Figure II.8 : Algorithme des Opérations de la Phase de construction (Set up) de LEACH [22]

II.5.3 : 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. [22]

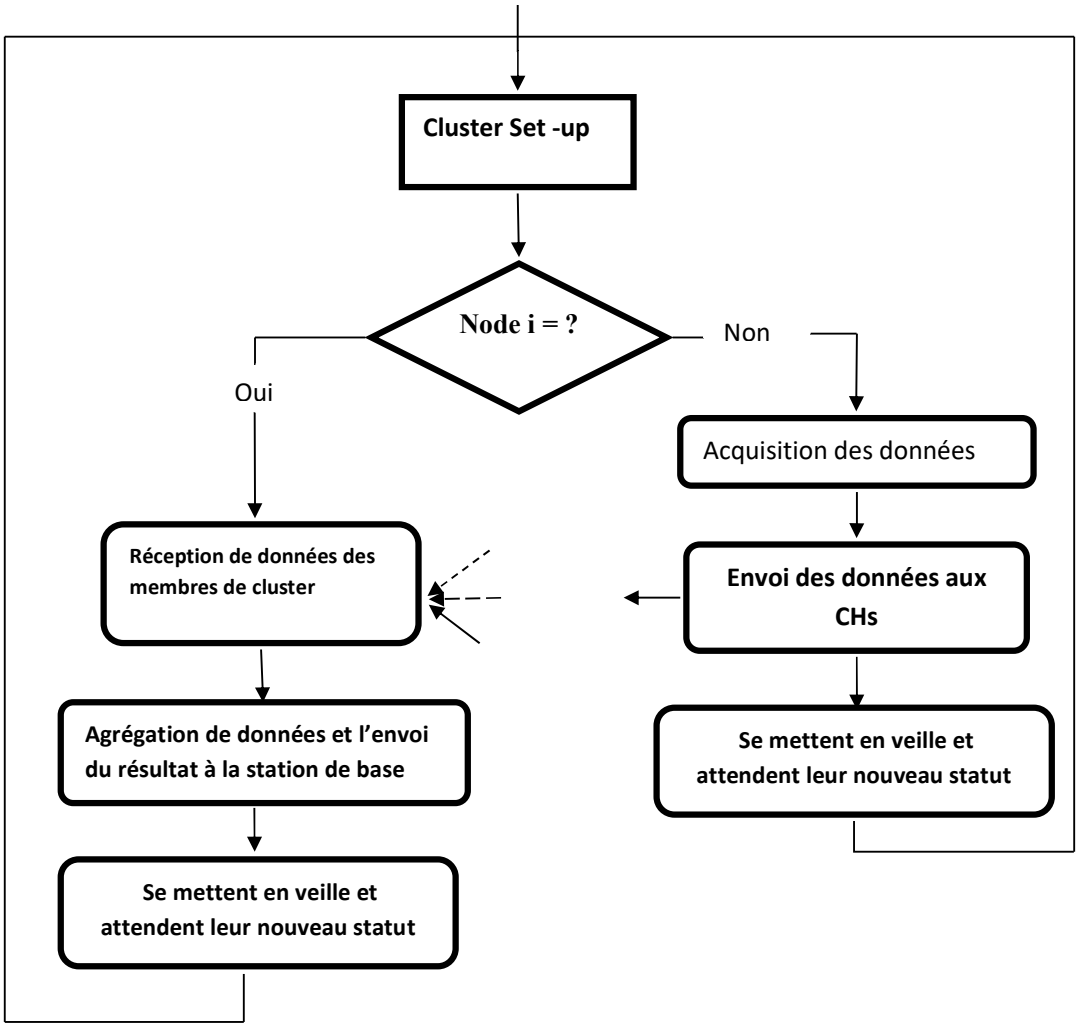


Figure II.9 : Algorithme des Opérations de la phase de communication (Steady-state) de LEACH [22]

D'autres protocoles hiérarchiques et d'auto organisation qui utilisent la technique de clustering inespérés du protocole LEACH sont impliqués, ils utilisent des nœuds avancés en énergie comme les protocoles SEP et ZSEP qui seront décrits dans les paragraphes qui suit.

II.6. Le Protocole SEP (Stable Election Protocol) :

Dans [23] les auteurs proposent l'algorithme SEP comme un nouveau protocole d'auto-organisation efficace en consommation d'énergie pour les réseaux de capteurs hétérogène (composé de nœuds normaux et de nœuds avancés).

SEP est un algorithme basé sur les groupes (cluster) [24]. Ce protocole est similaire à LEACH, 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.

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 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 $\mathbf{E_0,}$

(m et a) coefficient entre 0 et 1

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 [25], SEP utilise deux pourcentages des cluster-Heads sur le réseau [23], [26]:

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

Avec : $\mathbf{P_{NOR} = P_{Opt} / (1+a*m),}$ **II.2**

$\mathbf{P_{ADV} = P_{Opt} *(1+a) / (1+a*m),}$ **II.3**

La probabilité optimale $\mathbf{P_{Opt}}$ donnée par la courbe de la figure II-6-

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 **($P_{NOR} < P_{ADV}$).**

Afin d'améliorer les performances de protocole SEP les auteurs de [27] proposent une variante de protocole SEP appelée Z-SEP.

II.7. Protocole Z-SEP (Zonal-Stable Election Protocole) :

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 II-15.

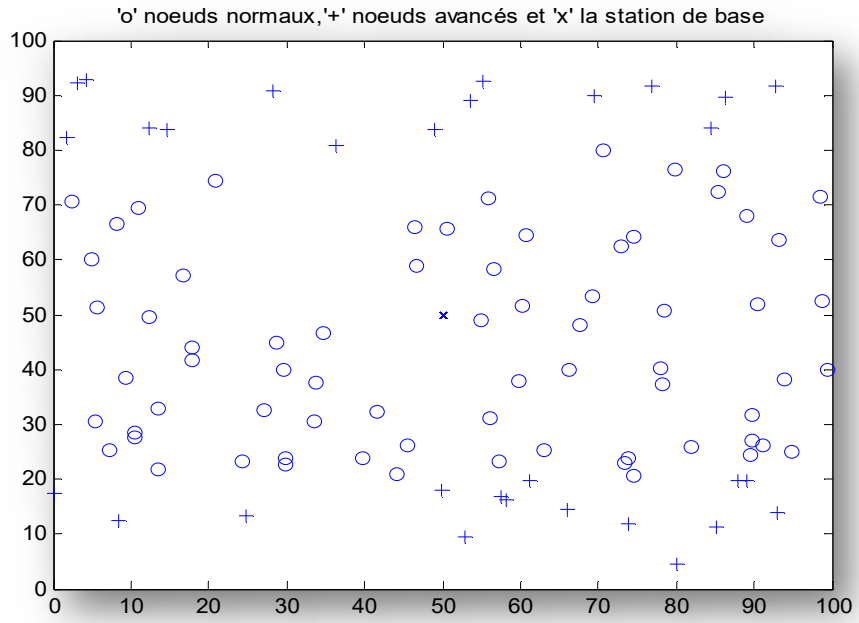


Figure II.10 *: Répartition de nœuds du réseau avec Z-SEP (Y_d=20, n=100 et m=0.3) [27]*

- 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 [27] 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 SEP.

❖ Le tableau suivant résume l'ensemble des paramètres utilisés pour les simulations qui nous a données les résultats présenté intérieurement:

Paramètres	**Valeur**	**Variation**
Le nombre des nœuds Total (**n**)	100 (m)	
Surface de Déploiement (L*L)	100(m)*100(m)	
L'énergie initiale des capteurs $\mathbf{E_0}$	0.5J	
Fraction des nœuds avancé **m**	0, 0.3	0, 0.3
Facteur supplémentaire d'énergie **a**	0, 1	0, 1
La position de la station de base	X=50, Y=50	
La taille des messages de donnée	4000 bits	
Le cout de transmission d'un paquet	50 nJ/bit	
Le cout de réception d'un paquet	50 nJ/bit	
Le cout d'agrégation d'un paquet	5 nJ/bit	
La probabilité d'être CH(**P**)	0.1	
Le nombre des rounds 'tours' (**r** max)	4000	

Efs le facteur d'amplification du signal pour d<d0	10 pJ/bit/m2
Emp le facteur d'amplification du signal pour d>d0	0.0013 pJ/bit/m2

Tableau II.1 : Les Paramètres de Simulation

II.8. Comparaison entre les quatres protocoles d'auto-organisation :

Les courbes suivantes présentes les performances des protocoles d'auto-organisation LEACH, LEACH Avancé, SEP et ZSEP.

La ***Figure II.12*** montre que la durée de vie ou la période de stabilité du protocole ZSEP est meilleure par rapport aux autres.

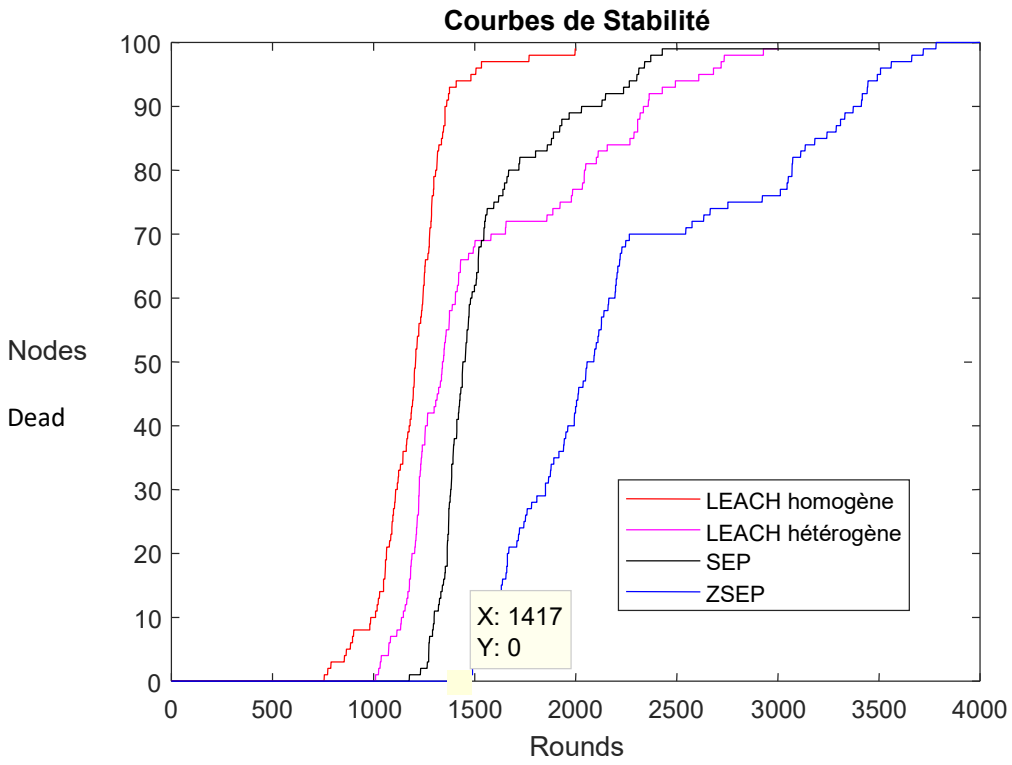


Figure II.11 : comparaison au Nombre de nœuds Dead en fonction des rounds, dans les protocoles LEACH homogène, LEACH hétérogène, SEP et Z SEP.

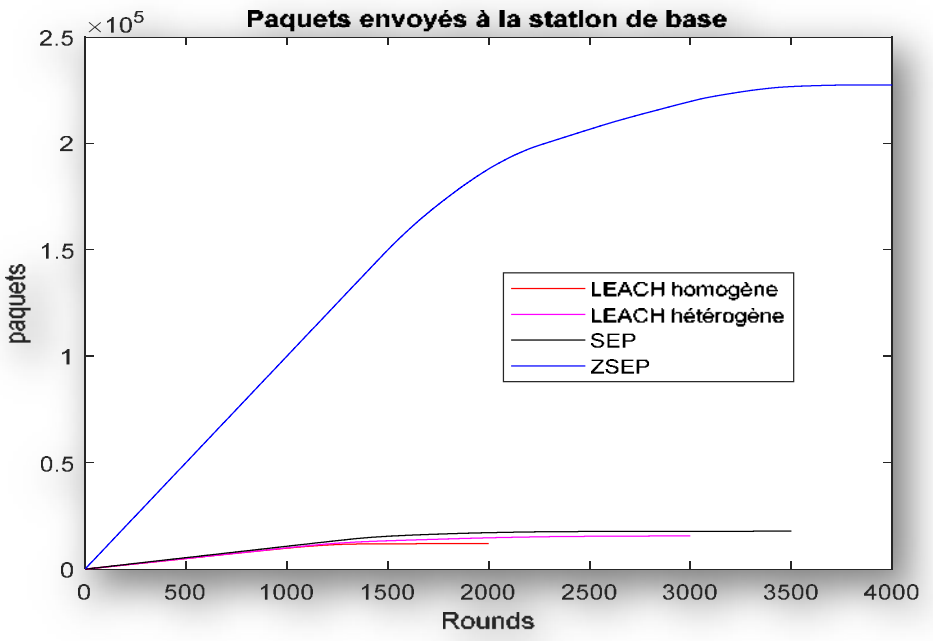


Figure. II.12 : comparaison de paquets envoyés à la station de base en fonction de tours dans le protocole LEACH homogène, LEACH hétérogène et SEP, ZSEP.

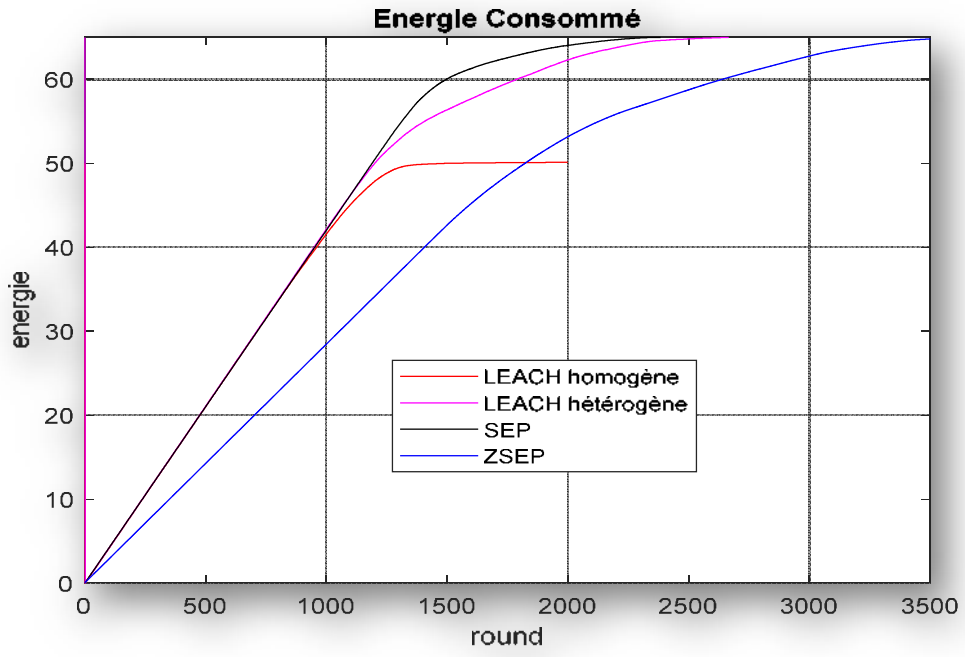


Figure .II.13 : comparaison d'énergie consommé en fonction de tours dans le protocole LEACH homogène, LEACH hétérogène et SEP, ZSEP

II.9. Conclusion :

Le routage hiérarchique regroupe les nœuds en clusters (groupes) où le Cluster Head (représentant ou chef de cluster) de chaque groupe a pour principale fonction la gestion des communications de paquets transmis par ses membres de groupe ou dirigés vers ces derniers. Une autre fonction intéressante qui peut être attribuée à ces Clusters- Heads est l'agrégation de données pour limiter la taille des données transmises vers la station de base. Les autres nœuds membres ne se chargent que d'une dissémination locale vers leurs Cluster- Heads. Cette technique permet plus d'économie en énergie et garantie un meilleur passage à l'échelle [13].

Plusieurs solutions de routage hiérarchique sont présentées dans la littérature [28]. [29] 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. Ces techniques qui ont utilisent toujours des nœuds avancés en énergie qui augmente le cout initial de conception du réseau.

La nouvelle technique d'amélioration des performances qui sera présentée dans le troisième chapitre utilise que des nœuds normaux et apporte de meilleures performances au RCSFs par rapport au protocole ZSEP qui se présente comme le meilleur protocole dans ce chapitre.

Chapitre III

Nouvelle technique proposée au protocole de routage des données LEACH

CONCLUSION Générale

III.1.Introduction :

Dans ce chapitre, nous présentons un nouveau protocole de routage pour un réseau homogène appelé protocole Leach modifié. L'objectif est de minimiser la consommation d'énergie afin d'améliorer la période de stabilité et la durée de vie du réseau.

A cette fin, nous avons introduit le concept d'appariement. Les nœuds de capteurs de la même application et situés à une distance minimale entre eux formeront un couple pour la détection des données et la communication.

III.2. Modèle de réseau de couplage avancé:

Dans ce protocole, nous améliorons également la technique de sélection des CH, en sélectionnant les CH sur la base de l'énergie restante des nœuds. Une description plus complète du couplage entre les nœuds est définie comme suit.

Initialement, les nœuds des réseaux se localisent par GPS (Global Positioning System) .et transmettent leurs informations de localisation, leur type d'application et leur identifiant de nœud à la station de base.

Ensuite, la BS utilise ces informations recueillies pour calculer la distance mutuelle entre les nœuds. Les nœuds situés à une distance minimale les uns des autres dans leur plage de transmission intra-cluster et du même type d'application sont couplés deux à deux par la BS. Ensuite, la BS diffuse les informations de couplage à tous les nœuds du réseau. Les nœuds prennent conscience de leur nœud couplé. Au cours du processus de couplage, certains nœuds sont exclus car ils ne se trouvent pas dans la plage de transmission inter-cluster d'un autre nœud.

Selon le schéma proposé, les nœuds basculent entre les modes "Veille" et "Éveillé" au cours d'un seul intervalle de communication. Initialement, les nœuds d'une paire basculent en Awake-mode également appelé mode actif si leur distance par rapport à la station de base est inférieure à son nœud couplé. Le nœud en mode actif rassemblera les données de l'environnement et transmettre ces données aux CHs. Pendant cette période, l'émetteur-récepteur du nœud couplé restera éteint et passera en mode veille. Les nœuds en mode veille mettent fin à leur communication avec les CH et ne détectent que l'état du réseau. Dans l'intervalle de communication suivant,

les nœuds du mode actif basculent en mode veille et les nœuds en mode veille basculent en mode awak. De cette manière, nous sommes en mesure de minimiser la consommation d'énergie car les nœuds en mode veille économisent leur énergie en ne communiquant pas avec le CHs. Les nœuds en mode veille économisent également leur énergie en évitant de trop écouter et d'être inactifs en mode veille. Les nœuds isolés restent en mode actif à chaque tour jusqu'à l'épuisement de leurs ressources énergétiques.

Un nombre optimal de CH sont sélectionnés à l'aide d'un algorithme distribué Au départ, tous les nœuds ont la même énergie et le réseau est homogène en termes de niveau d'énergie. Dans le protocole LEACH [30], chaque nœud décide de devenir CH ou non dans la ronde en cours. La décision est basée sur le pourcentage souhaité de CH par tour qui est Pd. Le Nombre de rounds après lesquels un nœud devient CH est appelé « epoch ».

En réseau homogène, l'énergie des nœuds après le premier tour ne peut pas être la même. Si « epoch » des nœuds de haute énergie et de la basse énergie est la même, ces nœuds ont la même probabilité de devenir des CHs. Il n'existe pas de répartition adéquate des responsabilités des CH, les nœuds à faible énergie mourront rapidement par rapport aux nœuds à haute énergie. Dans ce nouveau protocole, la sélection des CH après le premier tour est basée sur l'énergie restante de chaque nœud. Les nœuds en mode actif participent au processus d'élection de CH. En premier tour lorsque tous les nœuds ont la même énergie initiale Eo, Les nœuds en mode actif se choisiront eux-mêmes comme CHs sur la base de la probabilité de sélection des CH en utilisant un algorithme distribué. Chaque nœud a choisi un nombre aléatoire compris entre 0 et 1 et le compare à un seuil Th calculé comme suit:

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

Où G est l'ensemble des nœuds qui sont en mode actif au premier tour. Si le nombre aléatoire sélectionné par nœud est inférieur au seuil Th, Le nœud se choisira comme un CH et sera appelé en-tête de cluster parent (PCH). Le nœud qui a été sélectionné en tant que PCH, diffuse un message d'annonce à tout le réseau. Seuls les nœuds en

mode actif entendent les annonces diffusées provenant de différents PCH, Ils sélectionnent leurs PCH sur la base de l'indication RSSI (Received Signal Strength Indication) des annonces. Lorsqu'un nœud en mode actif décide à quel cluster il veut associer, il transmet une demande à ce PCH en utilisant le protocole MAC d'accès multiple par porteuse (CSMA) pour éviter les collisions. Parallèlement à la demande, les nœuds en mode actif transmettent également leurs informations d'énergie au PCH. Le PCH calcule l'énergie restante et sa distance de chaque nœud et sélectionne le CH, appelé Child-Cluster-Head (CCH), pour le suivant rond (tour). CCH est sélectionné sur la base de l'énergie restante maximale des nœuds. Si différents nœuds ont la même énergie restante, un nœud situé à une distance minimale de PCH est sélectionné en tant que CCH. Lorsque PCH sélectionne CCH, il établit une planification TDMA pour les nœuds associés en vue de la communication. PCH diffuse ensuite les informations de CCH et les nœuds associés à la planification TDMA dans son cluster. Chaque nœud du cluster transmet ses données à PCH dans son emplacement TDMA.

III.2.1 Phase de transmission du réseau :

Tous les nœuds en mode actif transmettent leurs données détectées au CH pendant les créneaux TDMA qui leur sont attribués. Les nœuds en mode veille ne prennent pas la participation à cette phase et économisent ainsi de l'énergie en éteignant leur émetteur-récepteur. Les CHs agrègent les données reçues de chaque nœud et les transmettent à la BS. L'agrégation de données est une technique de signalisation essentielle pour compresser la quantité de données. En raison de la technique d'agrégation des données, une quantité notable d'énergie est économisée. S'il y a N nombre total de nœuds et que k est le nombre optimal de CH, le nombre moyen de nœuds dans chaque cluster sera **(N/K-1)**

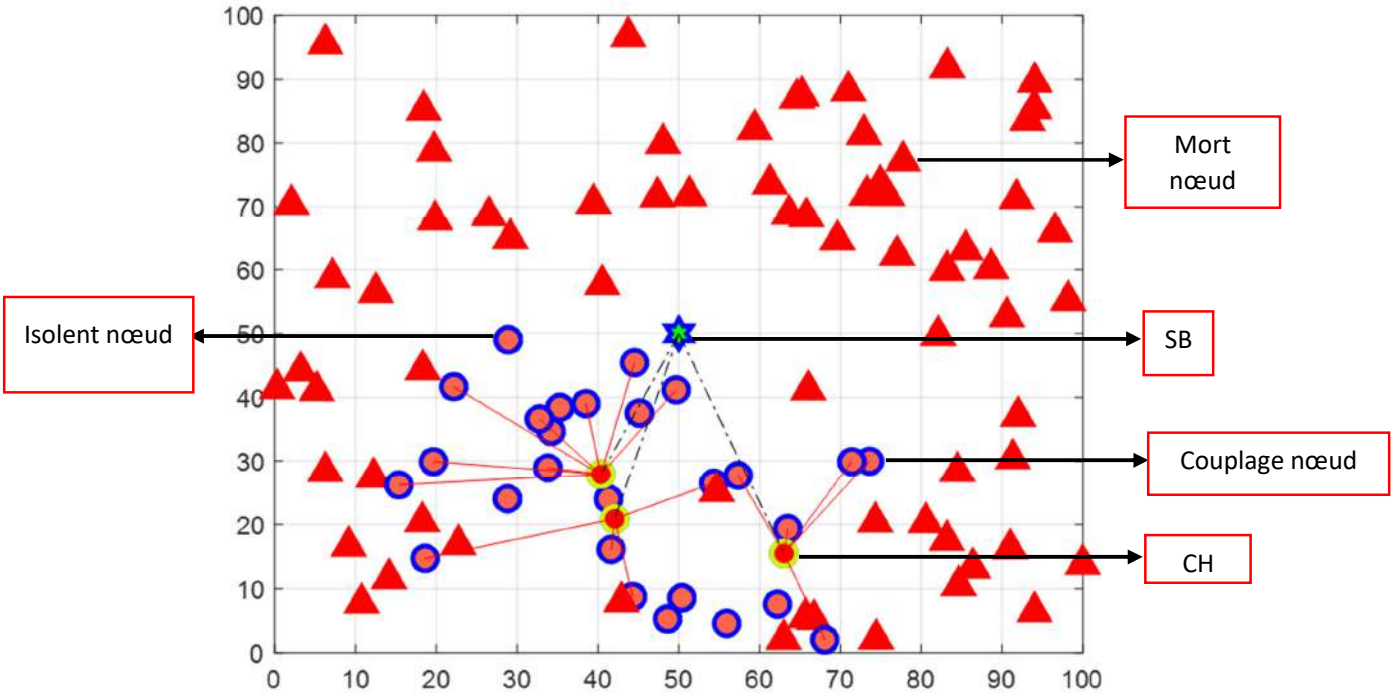


Figure III .1. Modèle de couplage de réseau avancé (LEACH-M)

Afin de transmettre des données, la radio d'un nœud non-CH dissipe ETX pour exécuter les circuits de l'émetteur et Eamp pour l'amplificateur d'émission afin d'obtenir un SNR acceptable (Signal-to-Noise Ratio). Ainsi, pour la transmission du message de Lc bit, un nœud non-CH consomme:

$$E_{non-CH} = \left(\frac{N}{K} - 1\right)(E_{TX} * L_C + E_{amp} * L_C * d^2_{toCH}) \qquad \text{III.2}$$

Pour recevoir des données d'un nœud non-CH activé par la radio de CH dans chaque cluster, consomme:

$$E_{rec} = (E_{RX} * L_c)\left(\frac{N}{K} - 1\right) \qquad \text{III.3}$$

Où ERX est l'énergie dissipée par les circuits du récepteur pour recevoir des données. L'Energie dissipée par CH pour agréger les données reçues de ses nœuds associés

$$E_{AGR} = (E_{AD} * L_c)\left(\frac{N}{K}\right) \qquad \text{III.4}$$

L'énergie de transmission ET dissipée par CH pour transmettre des données agrégées à la BS est:

$$E_{CH} = E_{rec} + E_{AGR} + E_T \qquad \text{III.5}$$

L'énergie totale dissipée par le CH est l'énergie dissipée lors de la réception des données de ses nœuds associés, de l'agrégation des données reçues et de la transmission de ces données à la BS.

III.2.2 Phase de configuration du mode des nœuds : (Node Mode Setup Phase)

Au cours de cette phase, chaque nœud décide de passer en mode veille ou en mode actif pour le tour suivant. Le nœud Active-mode commence par vérifier qu'il est CCH ou non. S'il ne s'agit pas de CCH, il éteindra son émetteur-récepteur et passera en mode veille. S'il est élu CCH, il restera actif pour le prochain tour. Les nœuds en mode veille passent à l'état actif si leur partenaire couplé n'est pas sélectionné en tant que CCH. Les nœuds qui ne sont pas couplés à aucun autre nœud resteront actifs pendant toute leur durée de vie.

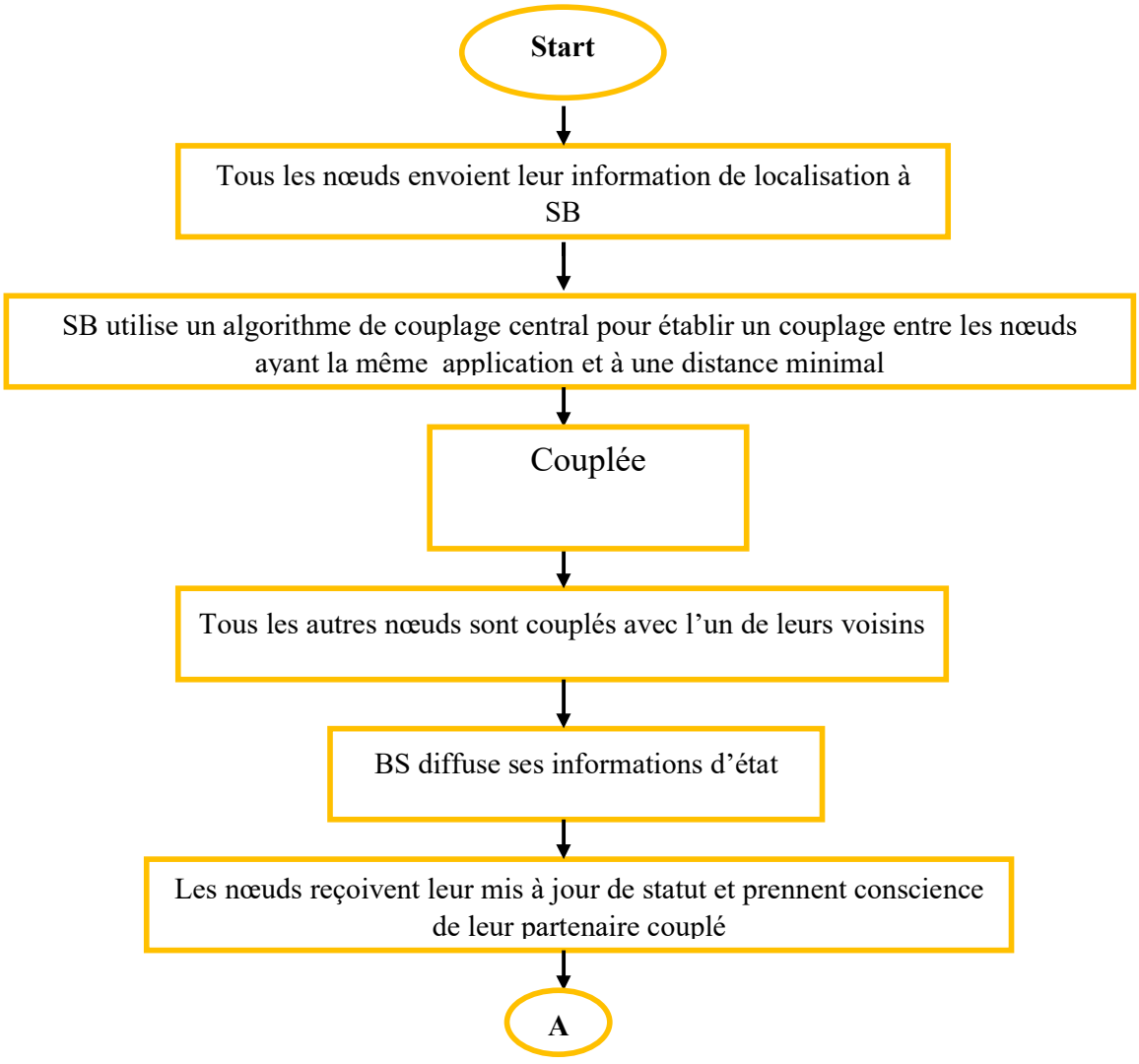
III.3. Algorithm de configuration:

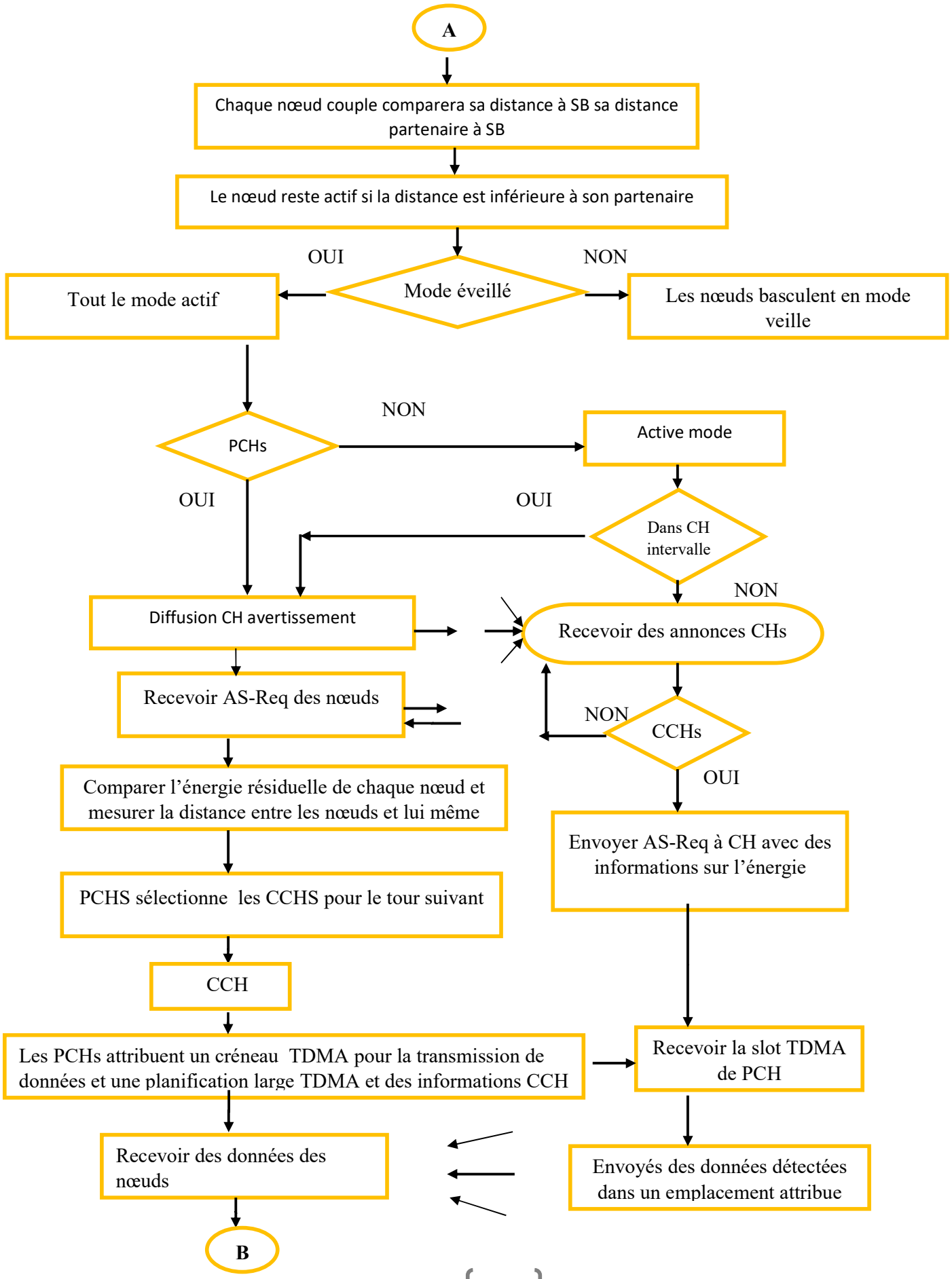
1: **END OF ROUND**
2: **if** (node == coupled) **then**
3: **if** (node mode==active && CCH FLAG==1) **then**
4: node mode=active
5: **else if** (node mode==active&&CCH FLAG==0) **then**
6: node mode = sleep
7: **else if** (node mode==sleep&&neighbor CCH FLAG==1) **Then**
8: node mode=sleep
9: **else if** (node mode==sleep&&neighbor CCH FLAG==0) **Then**
10: node mode=active
11: **end if**
12: **else if** (node==coupled&&node neighbor==dead) **then**
13: node mode=active
14: **else**
15: node mode = active
16: **end if**

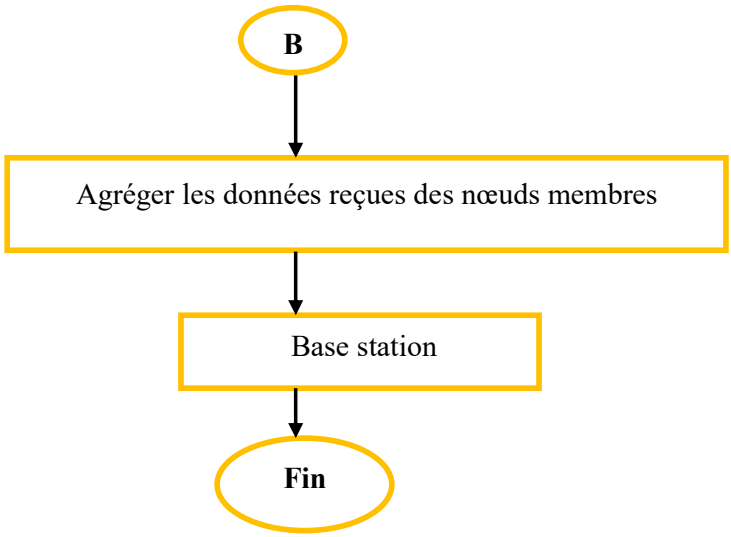
Figure III.2 : L'algorithme ci-dessus définit la manière dont les nœuds basculent entre les modes veille et réveil dans le nouveau protocole. Le nœud vérifiera d'abord qu'il est couplé ou non. Si le nœud est couplé, le nœud vérifie son mode et s'il est en

mode actif, il vérifie son indicateur CCH. Si son drapeau CCH est activé, il restera en mode actif. Si le nœud est en mode actif et que son drapeau CCH n'est pas activé, il passera en mode veille. Si le nœud est en mode veille, il vérifie si le drapeau CCH de son partenaire couplé est activé ou non. Si le drapeau CCH du partenaire couplé est activé, il reste en mode veille. Sinon, le nœud passe en mode actif. Si le couple d'un nœud est mort, il restera actif. Tous les nœuds qui sont laissés dans le processus de couplage restent actifs pendant toute la durée de vie du réseau

III.4. L'organigramme de Protocole LEACH modifié :




A
Chaque nœud couple comparera sa distance à SB sa distance partenaire à SB
Le nœud reste actif si la distance est inférieure à son partenaire
OUI
Mode éveillé
NON
Tout le mode actif
Les nœuds basculent en mode veille
NON
PCHs
Active mode
OUI
OUI
Dans CH intervalle
NON
Diffusion CH avertissement
Recevoir des annonces CHs
Recevoir AS-Req des nœuds
NON
CCHs
Comparer l'énergie résiduelle de chaque nœud et mesurer la distance entre les nœuds et lui même
OUI
Envoyer AS-Req à CH avec des informations sur l'énergie
PCHS sélectionne les CCHS pour le tour suivant
CCH
Les PCHs attribuent un créneau TDMA pour la transmission de données et une planification large TDMA et des informations CCH
Recevoir la slot TDMA de PCH
Recevoir des données des nœuds
Envoyés des données détectées dans un emplacement attribue
B



III.5. Résultat de simulation de LEACH Modifier :

Les résultats obtenus sont représentés par les figures suivantes :

- La figure III.3 Montre : nombre de nœud mort en fonction de nombre de tours de réseaux LEACH-Modifier, on remarque que ce protocole a une période de stabilité plus longue, le premier nœud meurt vers 1698 tour.

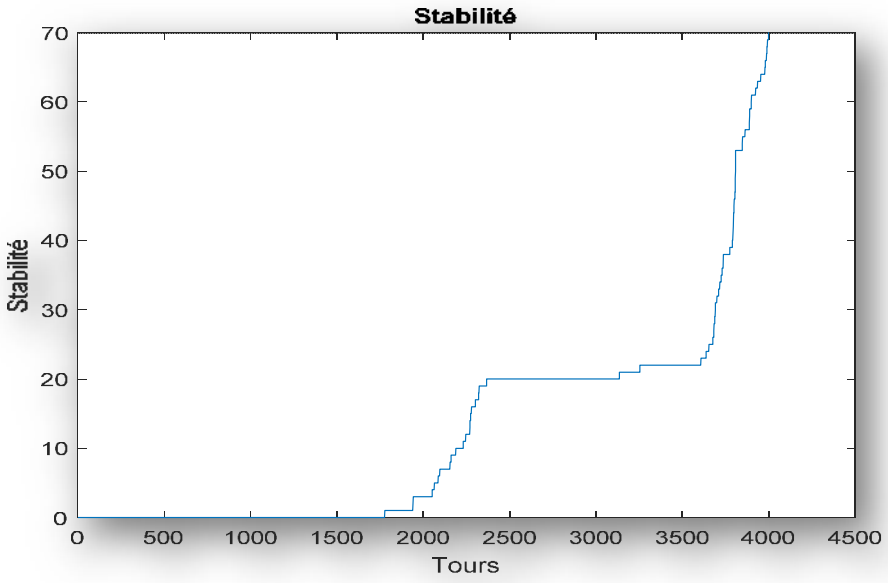


Figure III.3 : nombre de nœud mort en fonction de nombre tours

- La figure III.4 Montre les données reçues par la station de base en fonction de tours, on constate que le nombre de données reçus par la station de base est beaucoup plus important, enivrent 14560 message/ tour.

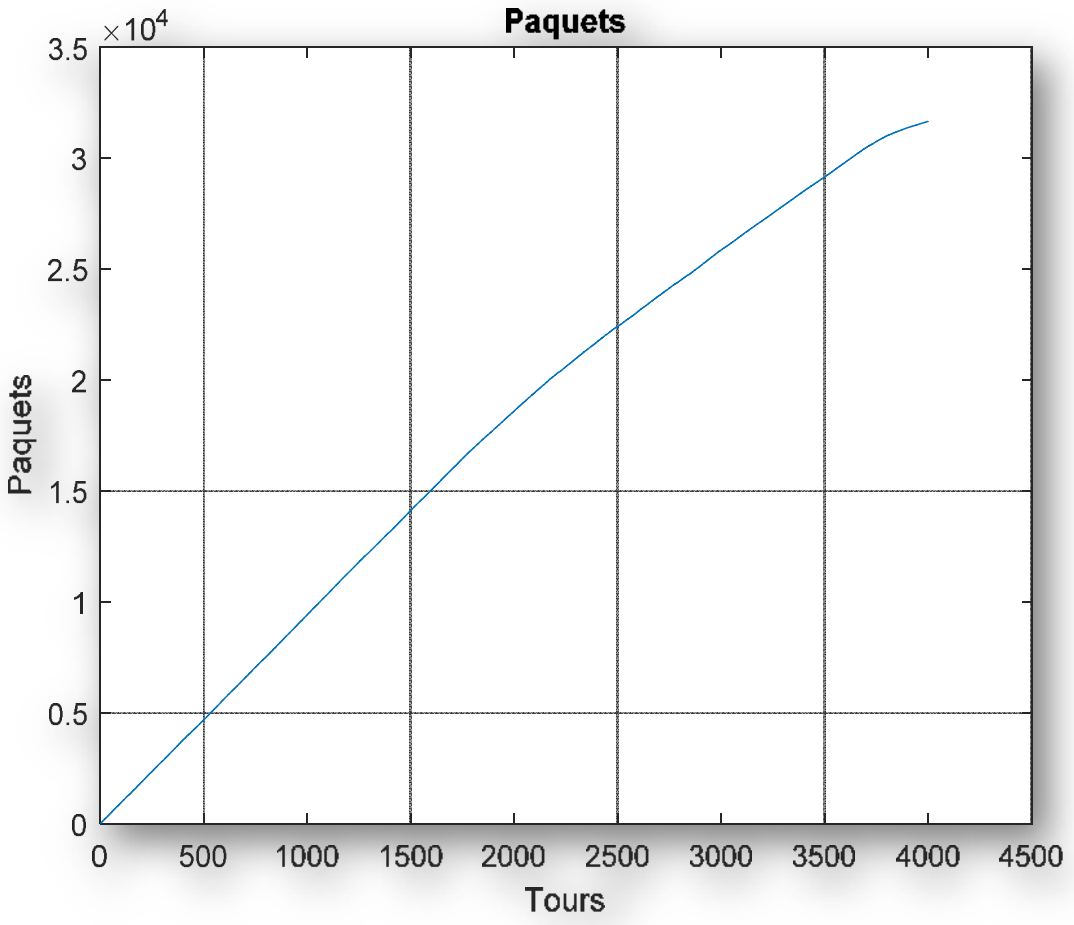


Figure. III .4 : paquet envoyés à la station de base en fonction de tours

- La figure III.5 présente l'énergie consommée par tours en remarque que ce Protocol réduit la consommation d'énergie, après 1698 il a consommée 25.27 J

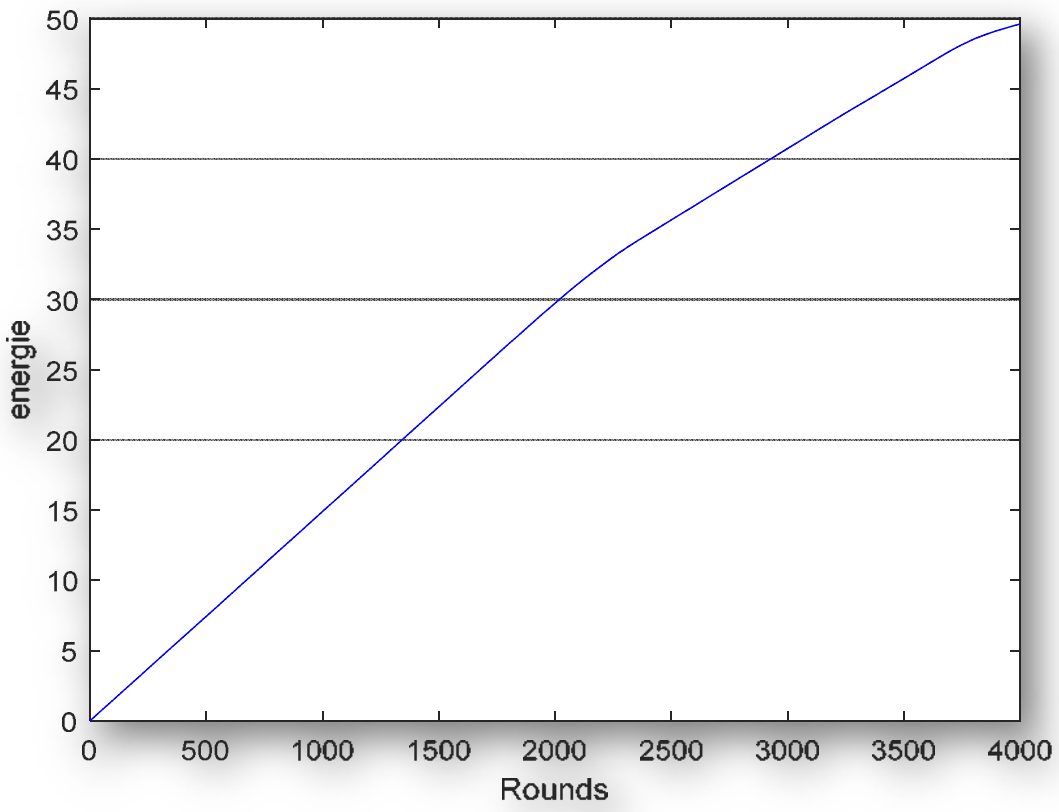


Figure. III.5: l'énergie consommée en fonction de tours.

III.6. Comparaison entre les protocoles d'auto-organisation et le nouveau protocole:

Dans ce tableau, nous présentons puis analysons les résultats des simulations obtenus avec les cinq protocoles (LEACH homogène, LEACH hétérogène, SEP, Z-SEP et LEACH-M)

Protocoles	Stabilité	Energie consommé (Joule)	Energie moyenne consommé par tours (Joule)	Paquets envoyés à la station de base
LEACH	796	33,42	0,042	7971
LEACH-h	1033	43,48	0,042	10340
SEP	1142	47,85	0,042	12280
ZSEP	1479	59,70	0,040	148000
LEACH-M	1698	28,52	0,014	18730

Tableau III .2 *:* Tableau *comparatif des résultats de simulations*

- **Le Tableau III.2 :** montre l'efficacité du protocole LEACH-M par rapport aux protocoles LEACH, LEACH hétérogène, SEP et Z-SEP. En comparant le résultat obtenu, nous remarquons que le protocole LEACH-M a un bon résultat et assure de meilleure performance en terme de stabilité, l'énergie et les donnes reçu car le protocole LEACH-M utilise la technique de couplage.

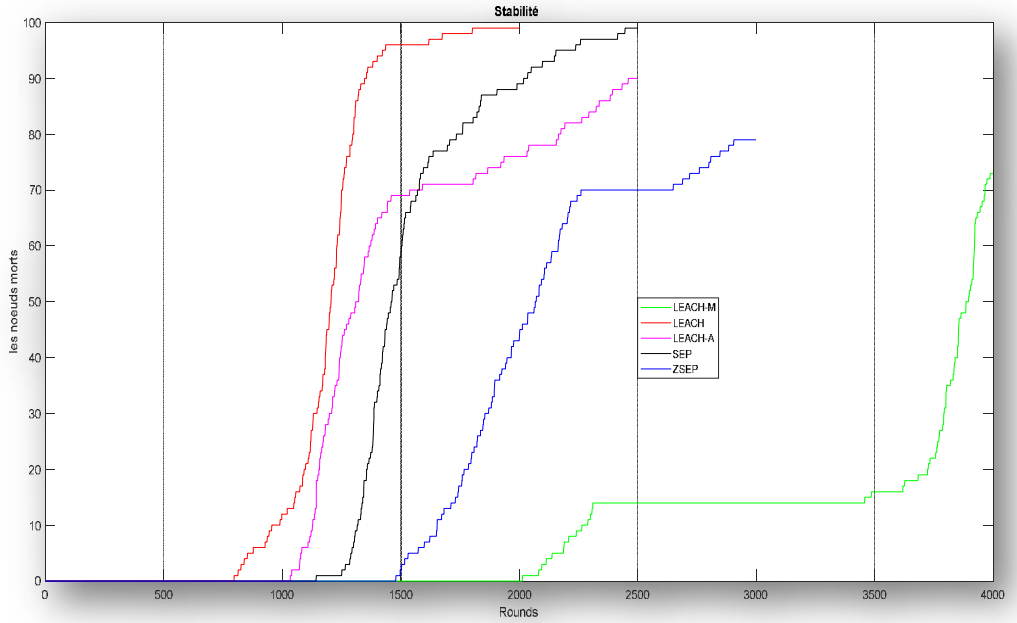


Figure III.6 : comparaison des nœuds morts en fonction des rounds dans les protocoles LEACH-M, LEACH, LEACH-A, SEP et Z-SEP.

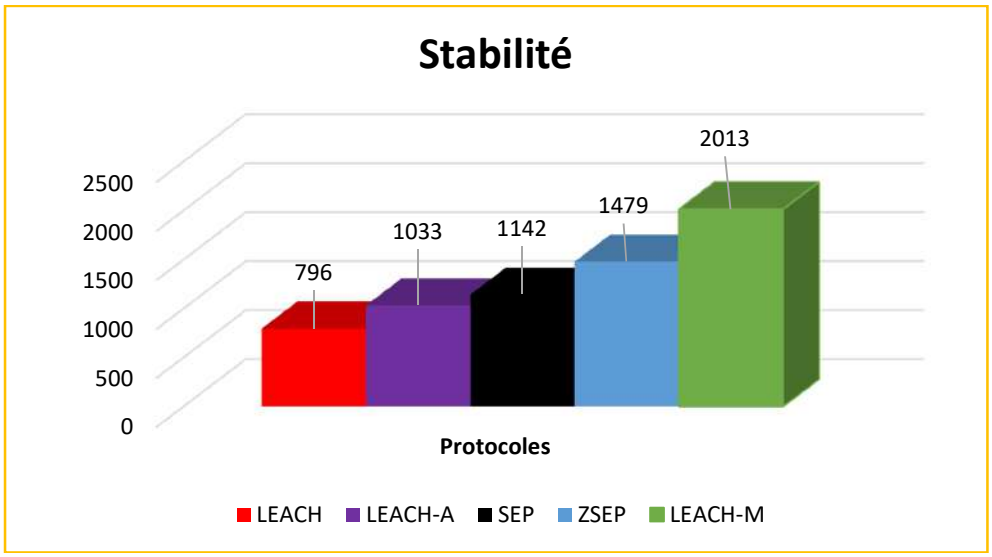


Figure III.7 : comparaison de stabilité en fonction des protocoles

On remarque que le protocole LEACH-Modifier la durée de vie par rapport aux protocoles SEP, Z-SEP, LEACH, LEACH-A environ de 200% tours

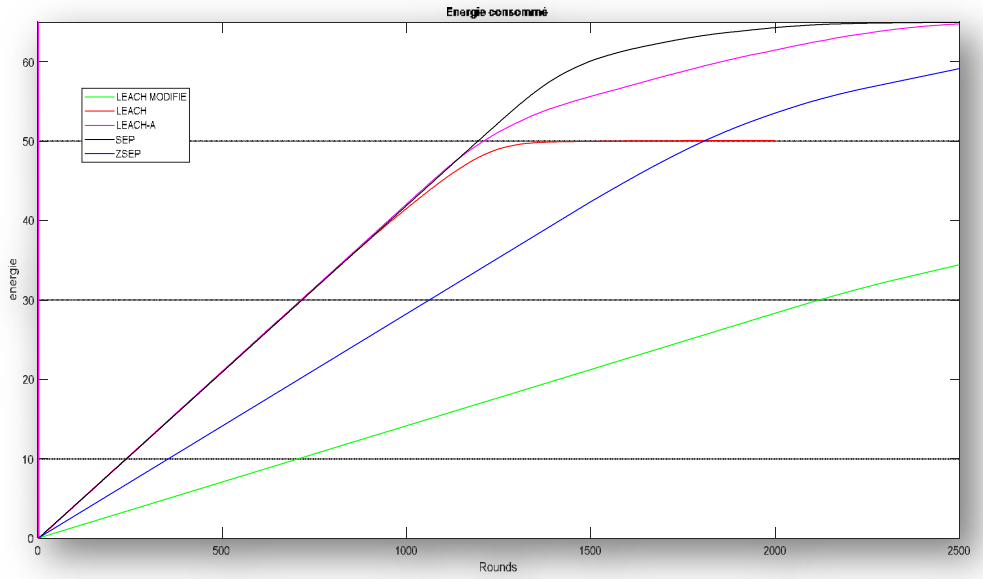


Figure III.8 : comparaison de l'énergie consommée en fonction des rounds dans les protocoles LEACH-M, LEACH, LEACH-A, SEP et Z-SEP.

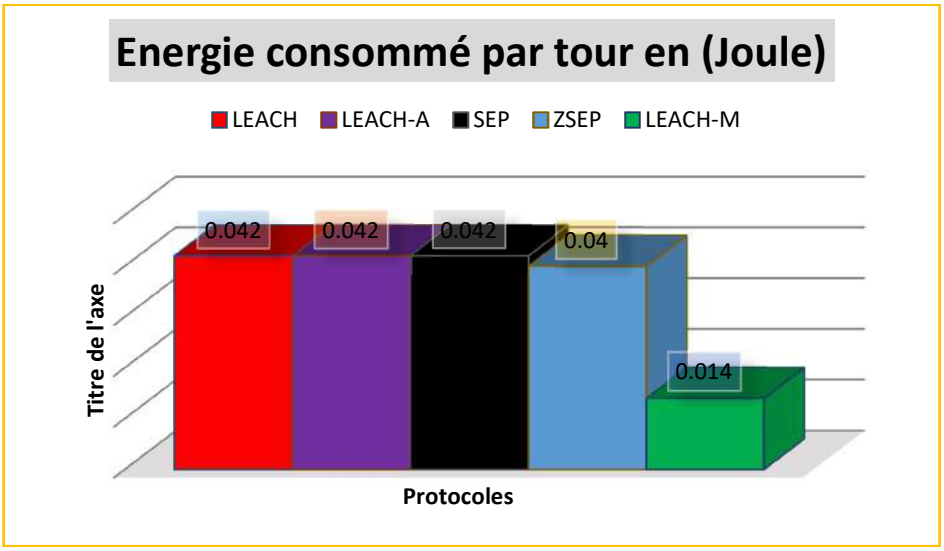


Figure III.9 : comparaison d'énergie en fonction des protocoles

- La nouvelle technique réduit fortement la consommation d'énergie environ de 70% par rapport aux autres.

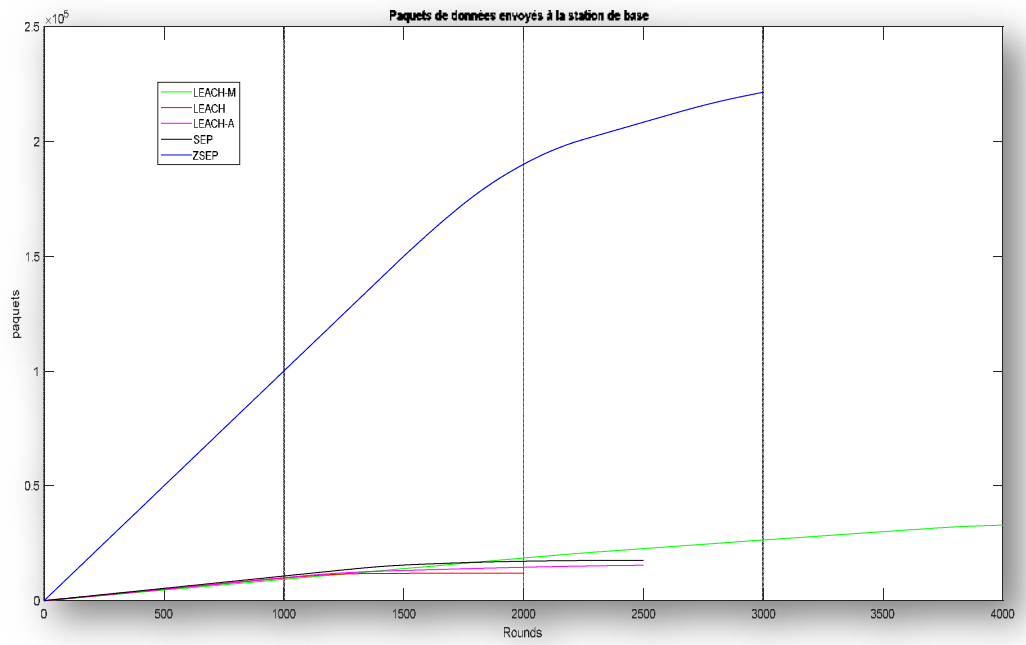


Figure III.10 : comparaison des donnée envoyés à la station de base en fonction des rounds dans les protocoles LEACH-M, LEACH, LEACH-A, SEP et Z-SEP.

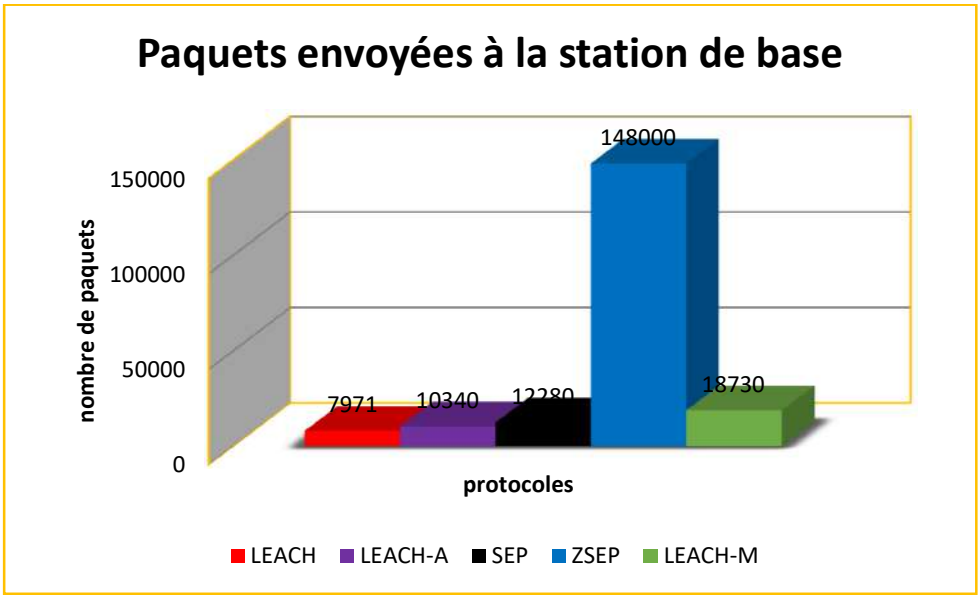


Figure III.11 : comparaison des données envoyées à la station de base

III.7. CONCLUSION :

Dans ce chapitre, nous avons présenté une technique de routage plus optimisé et efficace pour les WSN. L'objectif principal était d'améliorer l'énergie consommée. Dans LEACH-M, les CH sont sélectionnés sur la base de l'énergie restante. Dans LEACH-M, les nœuds basculent également entre les modes veille et actif afin de minimiser la consommation d'énergie. Dans notre stratégie proposée, la période de stabilité du réseau et l'énergie ont été optimisées. Les résultats de la simulation montrent qu'il s'agit d'une amélioration significative de tous ces paramètres par rapport à certains protocoles de routage existants, tels que LEACH-A, LEACH, SEP et Z-SEP.

CONCLUSION Générale

Le routage hiérarchique des données dans les réseaux de capteurs sans fils est une solution très efficace pour réduire la consommation d'énergie et augmenter la durée de vie du réseau.

Plusieurs travaux de recherche ont été réalisés afin d'amélioré le protocole LEACH mais toutes ces contributions ont été faites sur la base des nœuds avancées en énergie et avoir des réseaux hétérogènes qui consomment une énergie additionnelle par rapport au protocole LEACH homogène.

Dans ce projet une nouvelle technique, le protocole LEACH a été amélioré avec des nœuds qui ont une même énergie initiale c.à.d. un réseau homogène en impliquent la technique de couplage des nœuds voisin qui fonctionnent en alternance.

Ce nouveau protocole apporte des performances au réseau mieux que LEACH avancé, SEP et ZSEP, et ceci avec une énergie initiale totale égale à celle du protocole LEACH homogène.

Les résultats des simulations montrent que cette nouvelle technique a réduit considérablement la consommation d'énergie et a augmenté également d'une façon remarquable la durée de vie du réseau.

En effet, l'étape de simulation nous a posé un véritable défi puisque le code d'implémentation du protocole 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.

Il reste toujours des solutions à considérer pour mieux faire, comme par exemple l'implication de la mobilité de la station de base qui visite les chefs de clusters au moment de l'envoie des paquets de données et cette technique reste comme perspective pour les prochaines travaux.

BIBLIOGRAPHIE

[1]	M. LEHSAINI, **«Diffusion et couverture basées sur le clustering dans les réseaux de capteurs: application à la domotique. »**, thèse de doctorat en informatique, Université A.B Tlemcen Faculté des Sciences pour l'Ingénieur && Université de Franche-Comté U.F.R Sciences et Techniques École Doctorale SPIM, 2009.
[2]	Yacine CHALLAL, « Les réseaux de capteurs sans fil », cours, université Compiègne, France, 2008.
[3]	LEHSAINI Mohamed, **« Diffusion et couverture basées sur le clustering dans les Réseaux »**, Thèse de Doctorat, Université de Franche-Comté Besançon ,2009.
[4]	YOUSEF Yasser **« Routage pour la Gestion de l'Energie dans les Réseaux de Capteurs Sans Fil »**, Thèse de Doctorat, université de HAUTE ALSACE, 2010.
[5]	F. Akyildiz, Wieland Su, Sankar subramaniam, E. Cayirci, "A Survey on señor networks", *IEEE Communications*, Aug 2002.
[6]	*YACINE Younes*, **« Minimisation d'énergie dans un réseau de Capteurs »,** Mémoire de Magister, université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, Septembre 2012.
[7]	A. Makhoul, «Réseaux de capteurs : localisation, couverture et fusion de données», Thèse pour obtenir le grade de docteur de l'Université de Franche-Comté, novembre 2008.
[8]	W. Heinzelman, A. Chandrakasan, H. Balakrishnan, Energy-E_cient Communication Protocol for Wireless Microsensor Networks, International Conference on Systems Science, vol. 8, pp. 8020, January 2000.
[9]	M. LEHSAINI, **«Diffusion et couverture basées sur le clustering dans les réseaux de capteurs: application à la domotique. »,** thèse de doctorat en informatique, Université A.B Tlemcen Faculté des Sciences pour l'Ingénieur && Université de Franche-Comté U.F.R Sciences et Techniques École Doctorale SPIM, 2009.

[10]	Luis Javier García VILLALBA, Ana Lucila Sandoval OROZCO, Alicia Triviño CABRERA, Cláudia Jacy Barenco ABBAS, «Routing Protocols in Wireless Sensor Networks», Sensors 2009, 9, 8399-8421, ISSN 1424-8220, 2009.
[11]	*SAHRAOUI belkheyr*, **« Etude d'un protocole de routage basé sur les colonies de Fourmis dans les réseaux de capteurs sans fil »**, Mémoire de magister, Université Abou Bakr Belkaid – Tlemcen 2012.
[12]	Ian F. AKYILDIZ, mahmet Can VURAN, **«Wireless Sensor network»**, John Wiley, John Wiley & Sons Ltd, 2010.
[13]	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.
[14]	LEHSAINI Mohamed, « Diffusion et couverture basées sur le clustering dans les Réseaux », Thèse de Doctorat, Université de Franche-Comté Besançon ,2009.
[15]	Omar MOUSSAOUI, « Routage hiérarchique basé sur le clustering » Thèse de Doctorat, université de Cergy-Pontoise, 2006.
[16]	GUEDMANI Mohamed, LA LOCALISATION DANS LES RESEAUX DE CAPTEURS SANS FIL (WSNs), mémoire de magistère, Université de MEDEA, 2012
[17]	*FEMI A. Aderohunmu*, **« Energy Management Techniques in Wireless Sensor Networks: Protocol Design and Evaluation »,** Master of applied Science in Telecommunication, at the University of Otago, Dunedin, New Zealand, March 2010.
[18]	*BOUDJAADAR Amina,* **« Plat forme Basée Agents Pour l'Aide à la conception et la Simulation des Réseaux de Capteurs Sans Fil »,** Mémoire de Magister, université 20 aout 55 de Skikda, BOUDJAADAR Amina, 2012.
[20]	*MOUSSAOUI Omar*, **« Routage hiérarchique basé sur le clustering »,** Thèse

	de Doctorat, Université de Cergy-Pontiose, 2006.
[21]	Wendi Rabiner Heinzelman, Anantha Chandrakasan, and Hari Balakrishnan. Energy-efficient communication protocol for wireless microsensor networks. In Proceedings of the 33rd Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS‟00), volume 2, pages 3005-3014, Washington, DC, USA, 2000. IEEE Computer Society.
[22]	BOUBICHE Djallel Eddine, « Protocole de routage pour les réseaux de capteurs sans fil », mémoire de magister, Université Hadj Lakhder - Batna, 2008.
[23]	Smaragdakis, G., Matta, I., & Bestavros, A, « SEP: A stable election protocol for clustered heterogeneous wireless sensor networks ». Boston University Computer Science Department, 2004.
[24]	Aderohunmu, F. A., & Deng, J. D, « An Enhanced Stable Election Protocol (SEP) for Clustered Heterogeneous WSN », (No. 2009/07), Discussion Paper Series, 2009.
[25]	Qing, L., Zhu, Q., & Wang, M. « Design of a distributed energy-efficient clustering algorithm for heterogeneous wireless sensor networks », Computer communications, 29(12), 2230-2237, 2006.
[26]	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).
[27]	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.
[28]	Qi YANG, Yuxiang ZHUANG, Hui LI, «An Multi-hop Cluster Based Routing Protocol for Wireless Sensor Networks», Journal of ConvergenceInformation Technology, Volume 6, Number 3, Mars 2011.
[29]	O. YOUNIS, S. FAHMY, «HEED: A hybrid, energy-efficient, distributed clustering approach for ad hoc sensor networks», IEEE Transactions on Mobil Computing, vol. 3, no. 4, pp.366-379, 2004.

[30]	L. Qing, Q. Zhu, M. Wang, ”Design of a distributed energy-efficient Clustering algorithm for heterogeneous wireless sensor networks”. ELSEVIER, Computer Communications 29, 2006, pp 2230- 2237.